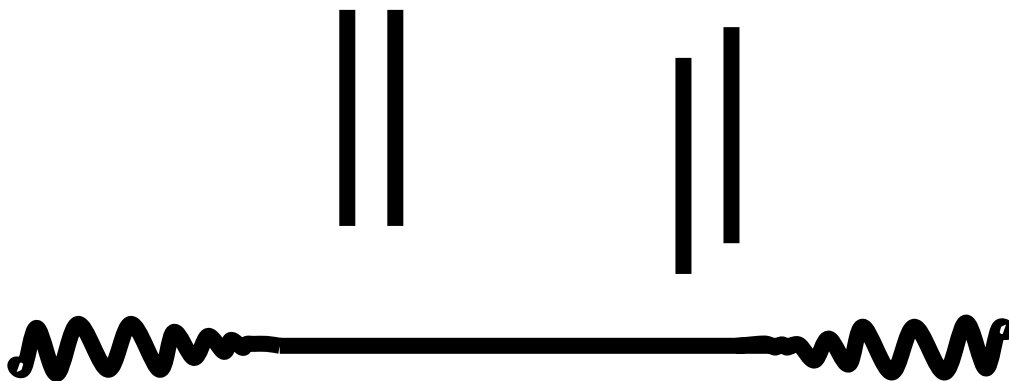


TRABAJO PRÁCTICO TUTORADO

-Ingeniería Técnica Forestal-

**Relación entre la frecuencia fundamental propia de una tabla de Iroko
(*Chlorophora excelsa*) y sus dimensiones.
Aplicación a la txalaparta.**



AUTOR: Anai Gamba Uriz
TUTOR: Antonio Villasante Plagaro
FECHA: Diciembre 2008

AGRADECIMIENTOS:

A mi familia por toda una vida de educación.

A Antonio Villasante por haberme dado la oportunidad de trabajar en este proyecto.

A Jo Tta Kun, por confiar en mí, por financiar el estudio y por investigar.

A mi tía Loli por haberme dejado el ordenador.

A Babuino por haberme dejado el micrófono y por tantas cosas más.

A Bonjo por su ampli, que no dejo de sonar ni el último día.

A mi familia lleidatá, por todo todito tó lo que me habéis dado.

A ti Santan.....*Tiocfaidh ar la!!* Porque nuestro día ya llegó!

... y bueno, a toda la pura banda que ha visto mis caras, mis prisas, mis caminatas por la uni, mis problemas, mis alegrías, mis descubrimientos, a tod@s l@s que hayáis oído de mi voz la palabra armónico sin saber de que cazzo hablaba, al Enemigo, por sus tardes de debate y opinión! Al Negro por esa incursión tan técnica que hicimos en el mundo de la madera...!

Por ultimo, y a titulo informativo:

Tocar cualquier tipo de instrumento musical en cualquier calle de Lleida, Barcelona, Girona, Tarragona es ILEGAL, técnicamente, sometido al permiso municipal.

Si creen que esto es desarrollo, sigan como están, que lo están haciendo muy bien.

Si por el contrario tienen otro concepto del desarrollo,..... Hagan lo posible por hacer que la música suene haya donde no suena!

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. La <i>txalaparta</i>	1
1.2. El sonido de la <i>txalaparta</i>	3
1.3. Antecedentes	9
2. OBJETIVOS	11
3. MATERIALES Y METODOS	12
3.1. Introducción	12
3.2. Descripción de las tablas	15
3.3. Condiciones de laboratorio	16
3.4. Elección del método de registro	17
3.4.1. Opciones	17
3.4.2. Condiciones	17
3.4.3. Resultados	18
3.4.4. Elección	20
3.5. Programa utilizado y estandarización de las condiciones de grabación	20
3.5.1. Velocidad de muestreo	20
3.5.2. Canales	20
3.5.3. Resolución	20
3.6. Descripción de los caballetes	21
3.7. Descripción de la <i>makila</i>	21
3.8. Elección y caracterización del tipo de aislante	22
3.8.1. Opciones	22
3.8.2. Condiciones	22
3.8.3. Elección	22
3.9. Elección del micrófono	23
3.9.1. Opciones	23
3.9.2. Condiciones	23
3.9.3. Resultados, comparación y elección	23
3.10. Elección de la situación del micrófono	24
3.10.1. Condiciones	24
3.10.2. Esquema, resultados y conclusiones	24

3.11. Elección de la situación relativa de los apoyos.....	26
3.11.1. Opciones.....	26
3.11.2. Condiciones	26
3.11.3. Resultados y conclusión.....	26
3.12. Elección del lugar de golpeo.....	27
3.12.1. Opciones.....	27
3.12.2. Condiciones	28
3.12.3. Resultados y conclusiones.....	28
3.13. Elección de la intensidad de golpeo.	29
3.13.1. Opciones.....	30
3.13.2. Condiciones	30
3.13.3. Resultados y conclusiones.....	30
3.14. Especie utilizada.....	30
4. ANALISIS Y RESULTADOS.....	31
4.1. Cuadros de resultados para cada tabla	32
4.2. Discusión y gráficos	42
4.3. Gráfico general.....	49
4.4. Comparación con los antecedentes.....	52
4.5. Propuesta para la afinación de una txalaparta.....	54
5. CONCLUSIONES.....	55
6. GLOSARIO.....	52
7. ANEJOS.....	53
7.1. Ficha del Iroko.....	53
7.2. Otros análisis espectrales.....	54
7.3. El método de la sal.....	55
7.4. Propuesta de dimensiones para la afinación de una txalaparta.....	57
8. BIBLIOGRAFIA	58

INDICE DE GRAFICOS, FOTOS, ESQUEMAS Y CUADROS

Gráficos

1. Las partes del golpe.....	5
2. Análisis de frecuencias de un golpe sobre una tabla.....	6
3. Forma de onda de la frecuencia fundamental y del tercer parcial.....	7
4. Análisis de frecuencias instantáneo para un golpe de txalaparta.....	7
5. Análisis de frecuencias instantáneo para un golpe de txalaparta.....	14
6. Comparación entre resultados obtenidos para 105 y 210 cortes por tabla.....	15
7. Análisis de frecuencias de los diferentes lugares de golpeo.....	28
8. Comparación de golpes en función de la intensidad de golpeo.....	29
9. Resultados para la tabla 1.....	44
10. Resultados para la tabla 2.....	45
11. Resultados para la tabla 3.....	46
12. Resultados para la tabla 4.....	47
13. Resultados para la tabla 5.....	48
14. Resultado general.....	49
15. Relación entre parciales general.	50
16. Comparación entre formulas.....	50
17. Error entre las formulas comparadas.....°	53

Fotografías

1. Txalaparta actual.....	2
2. Dispositivo regulador de la intensidad de golpeo, perfil.	18
3. Caballete.....	21
4. <i>Makila</i>	21
5. Aislantes.....	22
6. Micrófonos.....	23
7. Posibles situaciones donde colocar el micrófono.....	25
8. Distribución de las diferentes posiciones de los apoyos.....	26
9. Zonas de golpeo sobre una tabla.....	27

Esquemas

1. Vibración transversal de una tabla.....	3
2. Modos de vibración de una tabla.....	4
3. Modos de vibración transversal.....	5
4. Nodos y Antinodo del primer modo transversal. Vista 2D y 3D.....	8
5. Líneas de golpeo y modos transversales (primero, segundo y tercero).....	8
6. Propuesta de afinación.....	54

Cuadros

1. Características físicas de las tablas.....	16
2. Control visual de las tablas.....	16
3. Dispositivo utilizado para el lanzamiento de la makila.....	18
4. Resultado con afinadores.....	18
5. Resultado obtenidos a traves del ordenador y Adobe Audition 2.0 ®.....	19
6. Características de las <i>makilas</i>	21
7. Análisis para obtener la densidad de cada material aislante.....	22
8. Características técnicas de los micrófonos utilizados.....	23
9. Resultados de la tabla 1.....	32
10. Resultados de la tabla 2.....	34
11. Resultados de la tabla 3.....	36
12. Resultados de la tabla 4.....	38
13. Resultados de la tabla 5.....	40

º1. INTRODUCCIÓN

1.1 LA TXALAPARTA

La *txalaparta* es un instrumento de percusión originario de Euskal Herria y clasificado dentro de los idiófonos percutidos según el criterio de la estructura acústica que propusieron Sach-Hronbostel en 1914.

La *txalaparta* se toca entre dos *personas*, cada una de las cuales posee dos *makilas* con las que golpea la tabla. Cada miembro de la pareja ejecuta un movimiento alternativo de arriba abajo creando el mítico sonido de la *txalaparta*.

En su forma más elemental y tradicional, la *txalaparta* se compone de un tablón aislado del suelo, colocado horizontalmente y apoyado sobre dos soportes (cestos boca abajo, sillas, bancos, cajas,...). [Beltran, J.M.2004]

Antes, solo se usaba una tabla que generalmente era de castaño, aliso o cerezo. El tamaño de esta, aunque podía tener variaciones, era dos metros de largo, veintidós centímetros de anchura y 5 de espesor. [Goiri J., 1996]

La *txalaparta* aparece íntimamente ligada al trabajo rural en los caseríos de la zona central de Euskal Herria, incluyendo la zona norte de Navarra, Guipúzcoa y Vizcaya. “Las sesiones de *txalaparta* más importantes de los últimos tiempos en Lasarte y Astigarraga, eran las que se realizaban en las celebraciones festivas con motivo de la finalización del golpeo, trituración y prensado de la manzana para la preparación de la sidra”. [Beltran, J.M .2004]

¿Como era realmente la *txalaparta* antes de ser descubierta? ¿Quienes la tocaban? ¿Cuándo?.... Son preguntas que nunca podremos contestar. Pero fruto del trabajo y las investigaciones, se han elaborado un conjunto de hipótesis que de alguna manera responden a estas.

Durante el Franquismo la *txalaparta* tocó fondo, su ilegalización la condenó a la clandestinidad, y dos no más, fueron las parejas que sobrevivieron a dicha época. Las únicas personas vivas que llegaron a conocer la *txalaparta* a través de la transmisión directa.

A partir de ahí la *txalaparta* empezó a retomar fuerzas y gracias a la labor de los hermanos Artze y Beltran entre otros, empezó a rebrotar. Ejemplo de este resurgir fue la presentación de *Ez Dok Amairu* en Barcelona, el día 26 de noviembre de 1967. Este grupo formado por músicos, escritores y artistas tuvo el valor de, estando bajo el Régimen Franquista, reunirse para indagar, ampliar y actualizar la música tradicional vasca. Fruto de dicho trabajo, la *txalaparta* se pudo ver sobre los escenarios. [Laboa, M. 1995]

Este crecimiento fue continuo hasta que en la década de los 80 la *txalaparta* tuvo un desarrollo espectacular. Dejó de ser un instrumento rural para convertirse en un instrumento urbano y fruto de esa migración vino la oportunidad de mezclarse con otros instrumentos, nuevos estilos y nuevos materiales. Esta fusión es la que, con el paso de los años, invitará a la afinación de la *txalaparta*.

Aunque tradicionalmente haya sido un instrumento atonal, ya hace años que se afina, grupos como *Oreka Tx* y *Txala* (ver bibliografía) son claro ejemplo. Estos la han fusionado tanto rítmica como melódicamente con instrumentos como la alboka, la guitarra o la trikitixa y de este modo, el exclusivo carácter rítmico que tenía la *txalaparta*, se ha complementado con la melodía que le han aportado las nuevas tablas.

Hoy en día el instrumento esta compuesto por un número indeterminado de láminas que pueden ser de diferentes materiales (maderas duras autóctonas, hierro, pizarra o maderas tropicales,...) y estar afinadas o no. Estas láminas se colocan sobre unos aislantes sintéticos, como goma o espuma, que su vez van apoyados sobre unos caballetes.

Mientras que en la *txalaparta* tradicional se usaban *makilas* de unos 55 cm de longitud, hoy en día se usan *makilas* de menor tamaño debido a las diferencias rítmicas existentes. Estos nuevos ritmos exigen ser tocados de una forma más ágil que imposibilita el uso de *makilas* tan largas.

La *txalaparta* no tiene un patrón físico definido. Tanto la variedad de tamaños, especies y materiales, como las diferentes *makilas* existentes, hace que no haya dos *txalapartas* iguales.

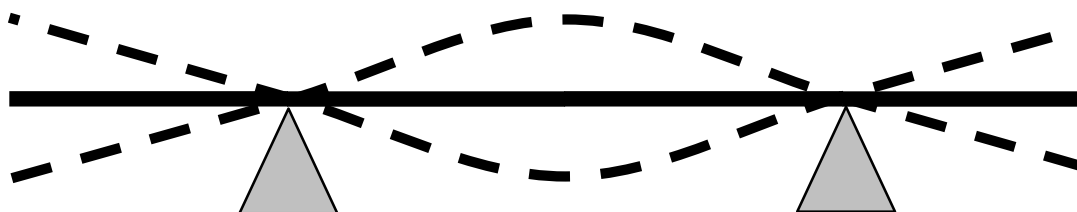


FOTO 1: *Txalaparta* actual: Se combinan los materiales como la pizarra con las maderas aloctonas como la bubinga o el nogal americano. [Jo Tta Kun]

Sobre todo, la característica que hace más singular a la *txalaparta* es el hecho de que se toque entre dos. La dependencia que cada miembro de la pareja tiene sobre el otro, hace que el sonido producido sea uno y dos los que lo tocan. Por esta razón, además de la técnica, la improvisación y la compenetración son factores de gran importancia.

1.2 EL SONIDO DE LA TXALAPARTA

Desde el punto de vista acústico, la *txalaparta* es una tabla biapoyada sobre superficies flexibles, de sección cuadrangular, que vibra sobre todo transversalmente a flexión cuando es golpeada por una *makila* perpendicularmente a la cara. [Sánchez, F.J. 2007].



ESQUEMA 1: vibración trasversal de un tabla

El impacto produce un conjunto de ondas sinusoidales puras que suenan al mismo tiempo creando un sonido complejo. Cada una de estas ondas sinusoidales puras se llama parcial y se clasifican como armónicos cuando presentan relaciones numéricas enteras con la frecuencia fundamental. Son los casos de los instrumentos de cuerda y viento por ejemplo.

En el caso de la *txalaparta* hablar de armónicos resulta difícil. Generalmente las tablas presentan parciales y pocas veces dan una sensación tonal clara. Aun y así, pueden ser afinadas de tal manera que formen un armónico, enriqueciendo la sensación tonal del sonido.

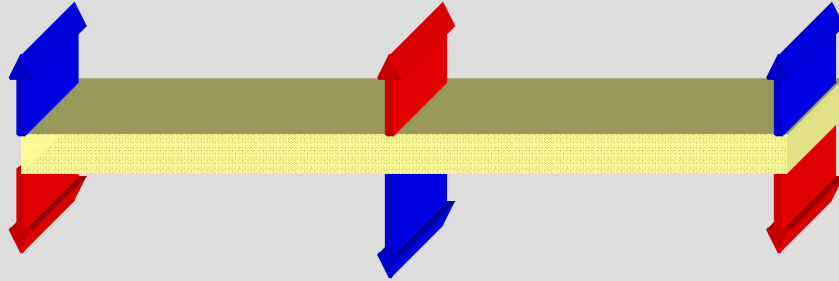
Cada parcial, representa el sonido producido por un modo de vibración y dentro de una misma tabla existen transversales, torsionales, laterales y longitudinales. Las dimensiones de una tabla definen la abundancia de cada uno de los parciales respecto a los otros. En el caso de la *txalaparta*, como la dimensión que prevalece sobre el resto es la longitud, los parciales que prevalecen son los transversales, pues son los que mayor amplitud de vibración presentan.

Cada uno de estos modos de vibración presenta un conjunto de patrones de vibración diferentes que se enumeran ordinalmente (primero, segundo, tercero,...).

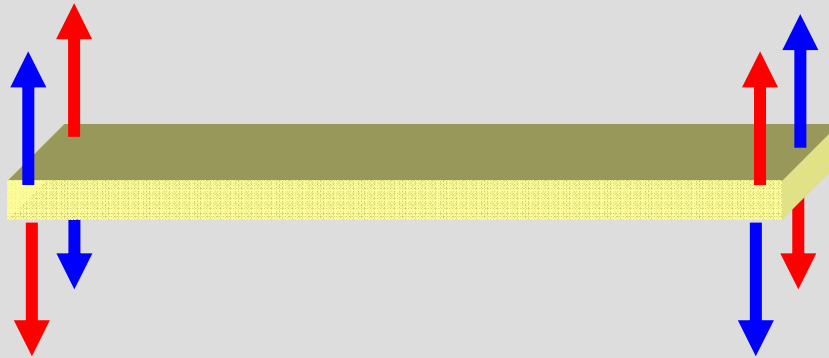
El Cuadro 1 de la página siguiente muestra los primeros modos de vibración de un paralelepípedo. Las flechas de un mismo color indican movimiento simultáneo.

ESQUEMA 2: Modos de vibración de una tabla

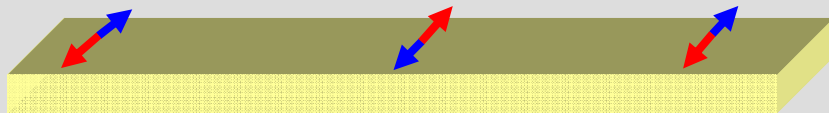
TRANSVERSAL



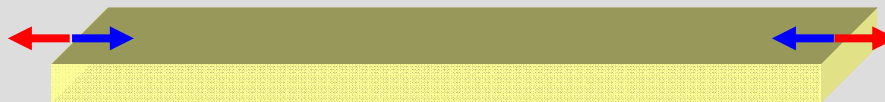
TORSIONAL



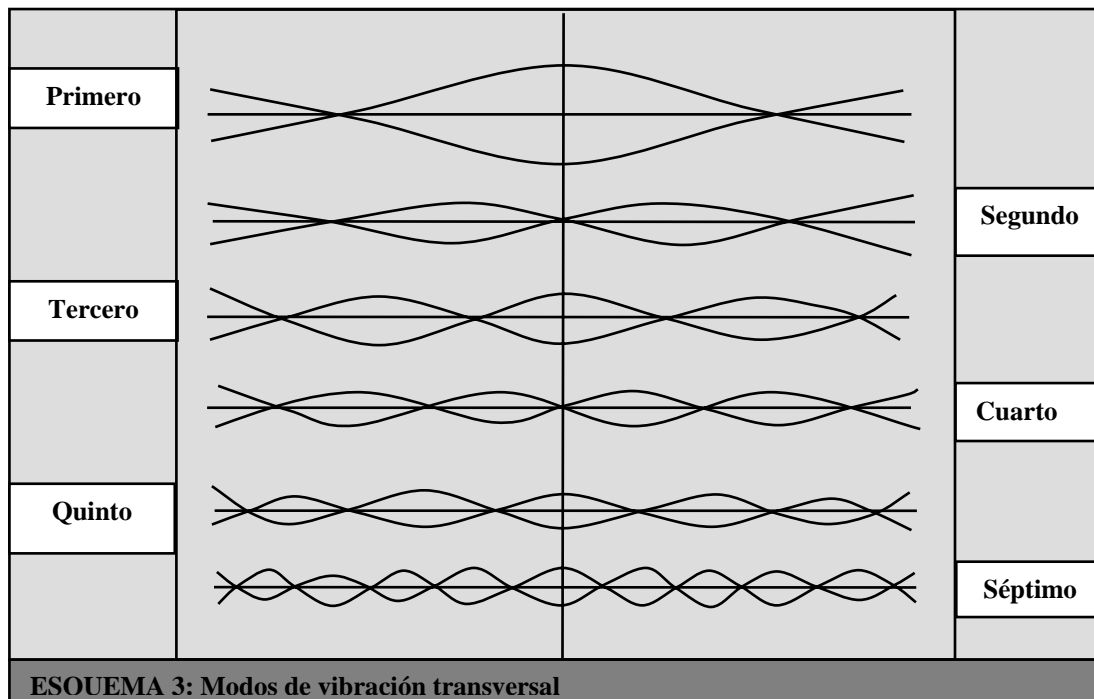
LATERAL



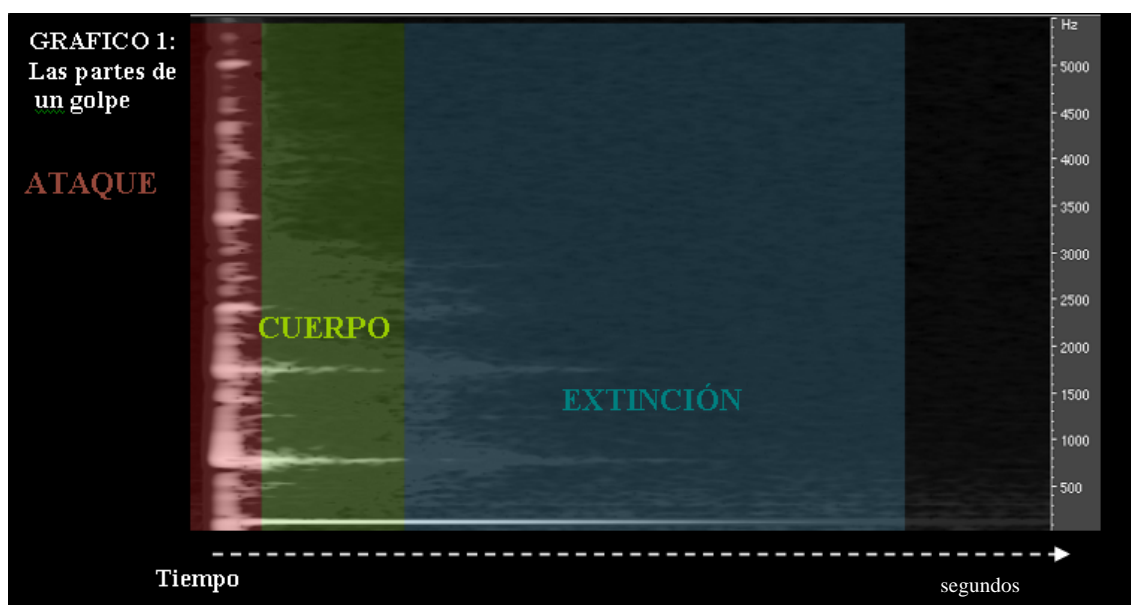
LONGITUDINAL



En el siguiente esquema observaremos más concretamente el movimiento que realiza cada uno de los modos de vibración transversal.



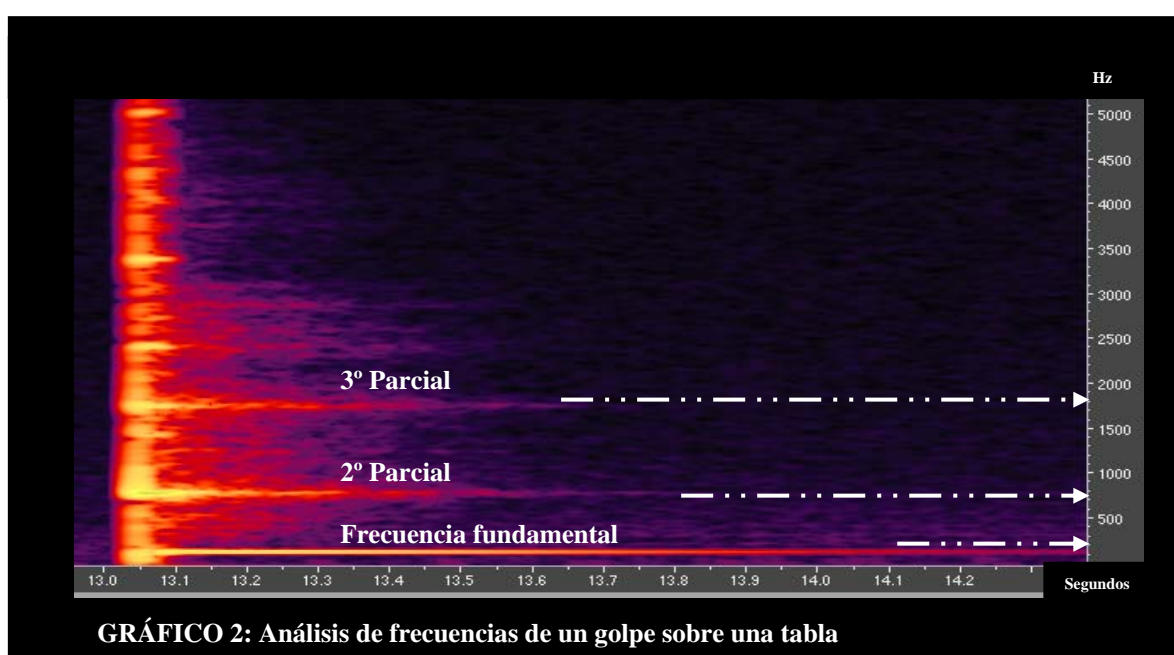
El sonido producido por un golpe se divide en tres partes: ataque, cuerpo y extinción. El golpe produce la excitación instantánea de casi todas las frecuencias comprendidas entre los 0 y los 5.000 Hz (el ataque). Pasado este momento, la intensidad de la mayoría de estas frecuencia disminuye, quedándose la fundamental y el resto de parciales (el cuerpo). Estos parciales van perdiendo la intensidad hasta que solo se queda la fundamental, la cual vibrará hasta atenuarse (la extinción). En el siguiente gráfico se observa cada una de las partes.



Dependiendo de las relaciones numéricas que presenten los parciales con la fundamental, lo distanciados que estén entre ellos y su duración, resultará más o menos fácil distinguir el tono del sonido producido por la tabla .

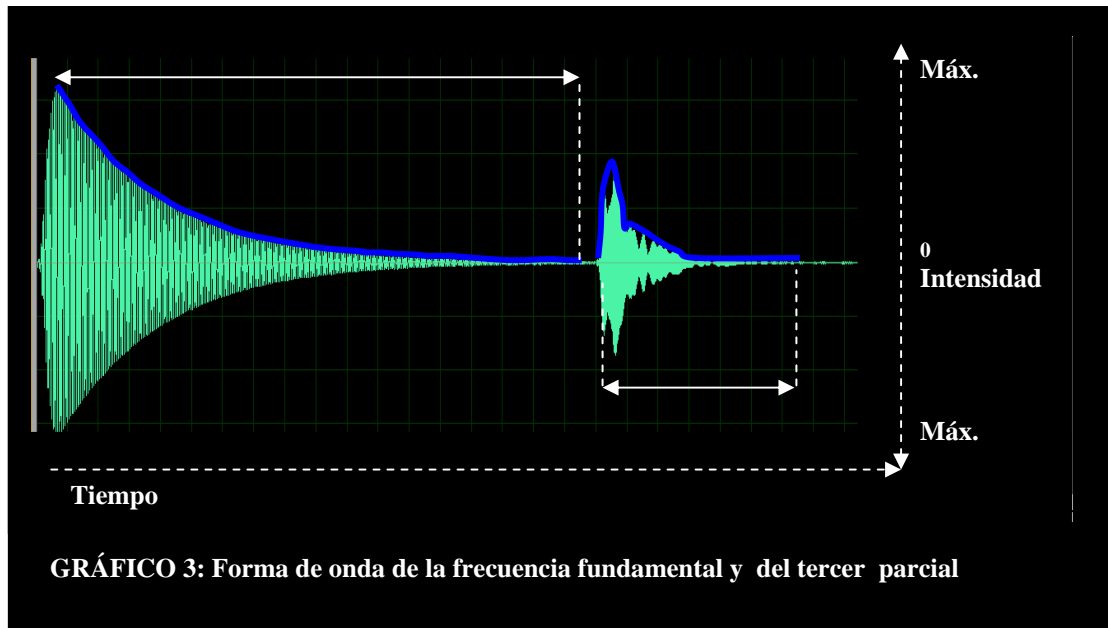
El primer modo de vibración transversal produce la frecuencia fundamental. Es el más importante de todos los sonidos en los que se subdivide un sonido complejo. Es la componente más grave de todo el espectro además de la más duradera. En instrumentos de barras como el xilófono o la marimba, la afinación de la frecuencia fundamental es la mínima afinación que se realiza.

El siguiente gráfico representa el sonido de un golpe sobre una tabla de *txalaparta*. En el eje de abscisas se representa el tiempo en segundos y en el de ordenadas la frecuencia en (Hz). El color expresa la intensidad, representando con colores claros las intensidades altas y en oscuro bajas.



Como se puede observar la frecuencia fundamental es la más grave, duradera y definida de todas. El segundo parcial, corresponde al tercer modo de vibración transversal, y el tercero al quinto.

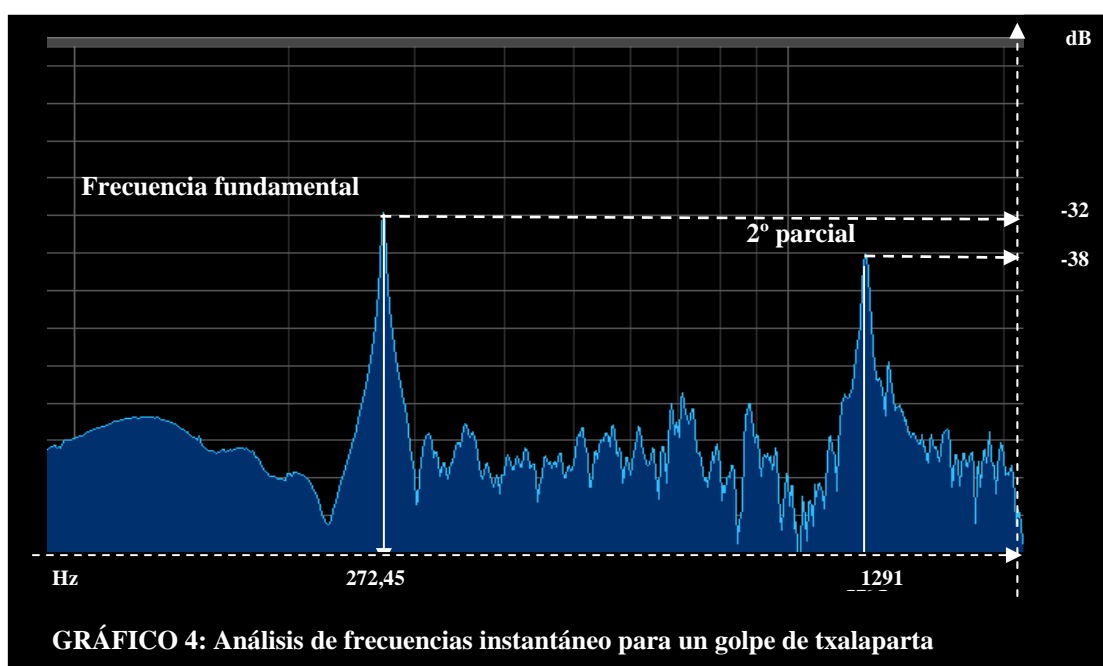
En el siguiente gráfico (página siguiente) se comparan la duración de cada uno de los parciales. A la izquierda se ve la envolvente de la frecuencia fundamental y a su derecha, la envolvente del tercer parcial. En el primero, se observa como desde el ataque hasta la extinción, la envolvente traza una curva exponencial decreciente. Mientras que en el segundo, el ataque produce un pico, de ahí cae repentinamente, para acabar en una extinción lineal y rápida.



Se observa claramente como la duración de cada parcial es diferente. En este caso la duración de la fundamental es del orden de 3 veces mayor que el del tercer parcial.

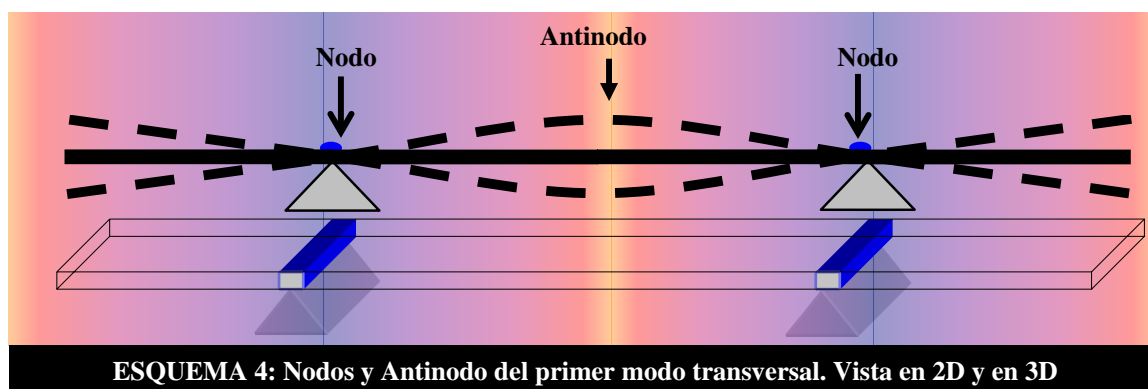
La intensidad relativa de la frecuencia fundamental respecto a los demás parciales, varía en función de la longitud de la tabla y de las proporciones que mantenga con la anchura y el grosor. Para tablas cortas (más o menos un metro) y de una misma sección en nuestro caso (51 mm x 151 mm), predomina la frecuencia fundamental, mientras que en tablas largas (de dos metros más o menos), predominan el segundo y tercer parcial.

En el siguiente gráfico vemos representado un golpe de *txalaparta* limitado entre las frecuencias 100 y 2000 Hz.



Cada modo de vibración tiene unas zonas nodales y otras zonas antinodales. Las primeras representan las zonas de mínima vibración y las segundas las zonas de máxima vibración. Resulta interesante conocer dichas zonas porque son la clave para el estudio de los procesos de afinación de los instrumentos de barras.

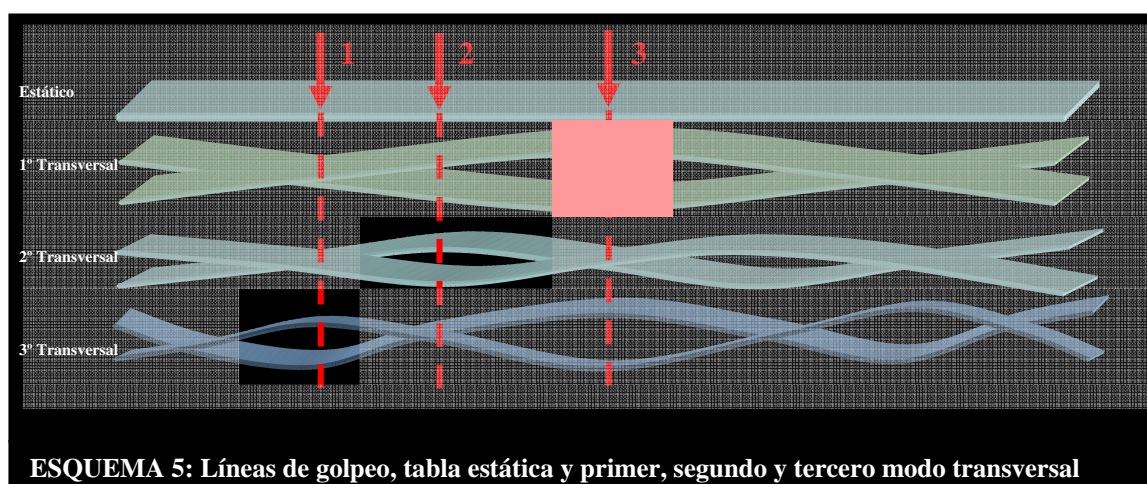
En la siguiente imagen se observan los nodos del primer modo de vibración transversal. Hay que tener en cuenta que la tabla tiene anchura por lo que los nodos no serán puntuales sino que serán lineales como se observa en el siguiente esquema. Los colores más calidos indican mayores amplitudes de vibración.



La posición relativa de los soportes respecto a la tabla no varía las zonas nodales de la tabla. Produce un cambio en el sonido debido al diferente reparto de las intensidades de cada parcial.

El lugar del golpeo tiene gran importancia. El sonido producido al pegar en cada zona es diferente. En cada posición se acentúan unos parciales u otros dependiendo de por donde pase la línea de fuerza del golpe. Si esta línea de fuerza atraviesa un vientre, ese parcial quedará remarcado, en cambio, si atraviesa un nodo, quedara silenciado.

En el siguiente esquema se representan la tabla estática, los tres primeros modos de vibración transversal y las zonas de golpeo. Cada uno de los golpes fomenta unos parciales y silencia otros. El golpe 3 enfatiza la fundamental, el 2 el segundo transversal y el 1 el tercero.



Por ejemplo situando los apoyos en las líneas nodales del primer modo transversal, y golpeando sobre su antinodo, el centro, se lograra excitar de forma máxima el primer modo transversal.

1.3 ANTECEDENTES

Se destaca la falta de información que hay en relación a este instrumento y las pocas experiencias similares realizadas anteriormente. Existe muy poca bibliografía y esta generalmente no trata aspectos acústicos del instrumento. Por otro lado, se han realizado investigaciones que, basándose en los mismos principios de la física utilizados en este estudio, han relacionado diferentes parámetros como el modulo de elasticidad. Estos estudios aunque resultaron interesantes tenían objetivos diferentes por lo que no resultaron de gran ayuda.

Su endemismo, su reciente descubrimiento y la falta de mercado producida por la escasez de *txalapartaris* y por las características propias del instrumento, hace que no se hayan fomentado estudios de investigación sobre el instrumento

Durante la formación y el desarrollo de este proyecto, se consultaron obras relacionadas directa e indirectamente con el tema del proyecto. Por un lado se analizaron artículos relacionados con el mundo de la etnomusicología y por otro se consultaron obras de carácter más acústico. Todo esto fue completado con estudios de otras ramas de la ciencia como la arquitectura, la medicina, la enseñanza, la tecnología de la madera o la musicología. Seguidamente se citan y describen algunos de ellos:

- **Txalaparta. Vibración y timbre. Javier Sánchez González y Manuel Sigüero Guerra** 15 de Abril de 2007. XXXI Congreso Nacional de Acústica – TecnAcústica 2000. Acústica musical ; AMS-04

Interesante artículo que habla sobre las características acústicas de la *txalaparta* tradicional. Presenta conceptos físicos sobre la vibración y presenta algunas sugerencias sobre donde pegar. Se recuerdan las propiedades acústicas de las barras vibrantes, se aplican a la *txalaparta* y se comparan resultados. Se realizan además varias observaciones sobre los palos (*makilas*). Se presenta una formula que proporciona las frecuencias de los parciales de una barra dependiendo de su material, de su forma y del modo de sujetarla.

La inadecuada explicación del artículo y mas concretamente de la formula propuesta ha imposibilitado la comparación de la formula presente y la que más tarde se obtuvo como fruto de la investigación. La formula presenta una constante propia del material (Km) sin explicar como ha sido obtenida ni que unidades tiene. Y aunque aparece este valor para varias especies de madera, al no aparecer el Iroko no se pudo comparar.

- **La Txalaparta: Alberto Siquier:**

Aparece en una web dedicada a los instrumentos tradicionales (Bibliografía). Explica levemente el contexto de la *txalaparta* tradicional, para más tarde abordar la construcción del instrumento y los materiales. También hace referencia a una

formula donde introduciendo el grosor, la longitud, la densidad y el modulo de elasticidad, se obtiene la frecuencia fundamental.

En la parte de resultados se compara la formula propuesta en este articulo con la obtenida a través del estudio.

- **Golpe en la Txalaparta**

Interesante artículo del cual no figura autor. Se accede desde un vínculo existente en una agrupación de los estudios existentes sobre la *txalaparta*, donde aparecen también algunos de los artículos anteriormente citados. [www.uam.es/personal_pdi/filoyletras/jsango/txalaparta2.htm - 9k -]

- **Método Acústico Comparativo de la calidad de maderas para construcción de instrumentos musicales: A. Moreno Acústica 98.**

Resulta un artículo interesante para la introducción al tema, pero no ofrece grandes conceptos ni explicaciones novedosas.

- **Los métodos de vibración como herramienta no destructiva para la estimación de las propiedades resistentes de la madera aserrada estructural. Guillermo Iñiguez González. Informes de la Construcción Vol. 59, 506, 97-105 abril-junio 2007 ISSN: 0020-0883:**

Describe los fundamentos teóricos de esta técnica y hace una valoración de los resultados obtenidos del proceso de investigación para demostrar su idoneidad

- **Determinación del modulo de elasticidad de la madera mediante vibraciones transversales. BAETTIG P, Ricardo M. Maderas, Cienc. tecnol. [online]. 2001, vol.3, no.1-2 [citado 23 Noviembre 2008], p.44-51. Disponible en la World Wide Web:http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-21X2001000100005&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0718-221X.**

- **Correlaciones entre la microestructura y la atenuación sonora en un acero inoxidable martensítico: Daniel Ramírez, Dyna, Noviembre 2004, Vol. 71, nº 144 Universidad Nacional de Colombia, Medellín.**

Artículo que compara diferentes materiales utilizados en la construcción del glonkspiel, comparando diferentes materiales después de diferentes tratamientos.

2. OBJETIVO

Encontrar a través de un estudio empírico, la formula matemática que relacione la frecuencia fundamental propia de una tabla de Iroko (*Chlorophora excelsa*), con la longitud de la lámina, siendo grosor, anchura, especie, humedad y densidad constantes.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 INTRODUCCIÓN

El experimento consistió en el registro de los sonidos producidos por cada una de las tablas en función de los diferentes valores de longitud. Se eligió la variable longitud de tabla por ser la dimensión que mayor variación en la frecuencia fundamental creaba y por ser la dimensión que más fácil era manipular.

Con el fin de demostrar que la variable longitud era la que mayor influencia tenía sobre la frecuencia fundamental se realizó el siguiente experimento. Tres tablas de roble, de las mismas dimensiones y procedencia, fueron modificadas con el fin de observar su comportamiento en frecuencia. Tras haber sido igualadas las tres dimensiones, se observó en el laboratorio que para la misma variación porcentual en cada dimensión, se daban diferentes variaciones de respecto a la frecuencia fundamental.

Se midieron cada una de las frecuencias fundamentales de cada pieza en tres momentos diferentes. Al principio las tres piezas eran iguales y toda diferencia en frecuencia venía dada por irregularidades propias del material.

SIN CORTAR (SC) 100%				
TABLA	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	GRUESO (cm)	frecuencia fundamental (Hz)
1	61,6	5,7	2,5	309,5
2	61,8	5,7	2,5	314,9
3	61,5	5,7	2,5	298,7

Más tarde, se cortó cada una de las piezas. La primera se cortó en longitud, la segunda en anchura y la tercera en grosor, y otra vez se volvieron a grabar obteniendo los siguientes resultados.

PRIMER CORTE (C1) 95%				
TABLA	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	GRUESO (cm)	frecuencia fundamental (Hz)
1	58,52	5,7	2,5	341,8
2	61,8	5,415	2,5	312,2
3	61,5	5,7	2,375	288

Tras hacer una primera comparación, se observó que una reducción de la longitud supone un aumento en la frecuencia fundamental mientras que una reducción tanto en la anchura como en el grosor produce una disminución de la frecuencia fundamental. Por último se realizó otro corte y se volvieron a registrar los sonidos.

SEGUNDO CORTE (C2) 90%

TABLA	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	GRUESO (cm)	frecuencia fundamental (Hz)
1	55,44	5,7	2,5	387,5
2	61,8	5,13	2,5	312,2
3	61,5	5,7	2,25	285,3

La conclusión es que el incremento unitario de cada dimensión afecta en diferente grado al incremento de la frecuencia fundamental. Siendo la longitud la más influyente, seguida del grosor y de la anchura.

FRECUENCIA FUNDAMENTAL (Hz)

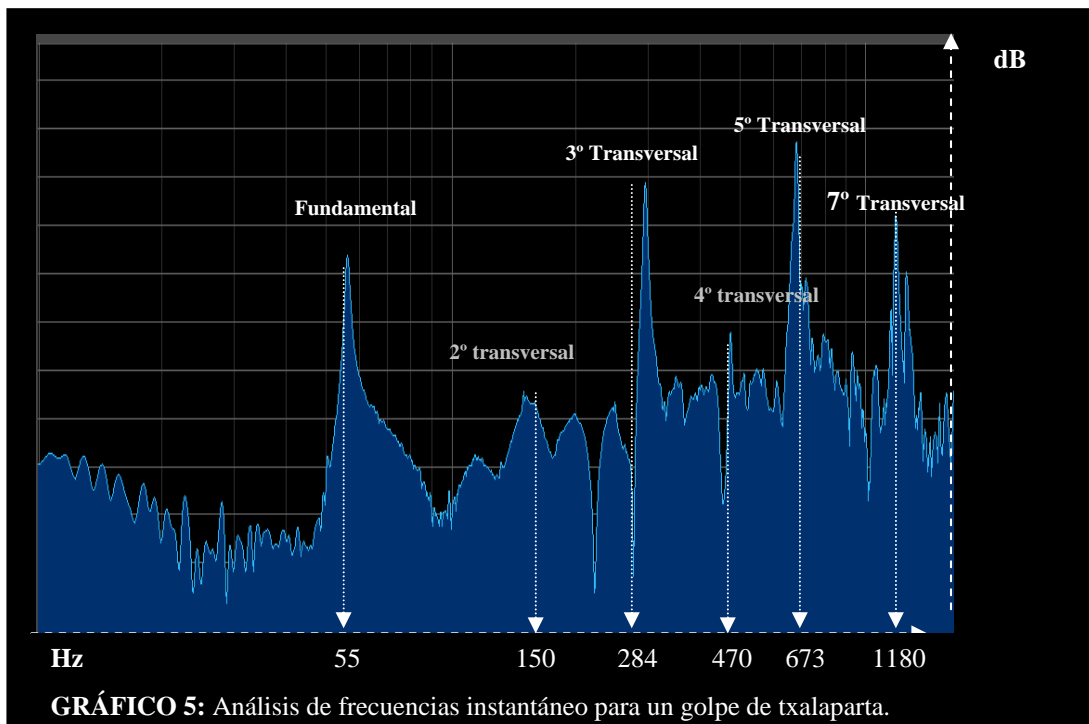
	SC	C1	C2	C1/SC	C2/SC
TABLA 1 (longitud)	309,5	341,8	387,5	1,10	1,25
TABLA 2 (anchura)	314,9	312,2	312,2	0,99	0,99
TABLA 3 (grosor)	298,7	288	285,3	0,96	0,96

En total fueron realizados 789 golpes de un total de 5 tablas. Cada tabla fue cortada en longitud a intervalos fijos y registrado su sonido después de cada corte. De cada golpe se obtuvieron los datos referidos a la frecuencia fundamental, al tercer, al quinto y al séptimo modo transversal. Estos datos correspondían a las frecuencias que mayores picos de intensidad formaban.

Las frecuencias referidas a los picos de mayor intensidad mantenían unas relaciones numéricas con la frecuencia fundamental que permitieron identificarlas basándose en las relaciones extraídas del libro [Mariano, J. 2006]. Según este, las relaciones entre la frecuencia fundamental y los parciales transversales eran las siguientes.

MODO DE VIBRACIÓN	Frecuencia
Primer transversal	f
Segundo transversal	2,71 f
Tercer transversal	5.15 f
Cuarto transversal	8.43 f
Quinto transversal	12.21 f
Séptimo transversal	21.40 f

Así, tras registrar un golpe pudimos identificar cada uno de los picos principales como se puede observar en el gráfico de la página siguiente.



MODO DE VIBRACIÓN	Frecuencia	Real (Hz)	Relación real
Primer transversal	f	55	f
Segundo transversal	2,71f	150	2.73f
Tercer transversal	5.15f	284	5.16f
Cuarto transversal	8.43f	470	8.55f
Quinto transversal	12.21f	673	12.34f
Séptimo transversal	21.40f	1180	21.46f

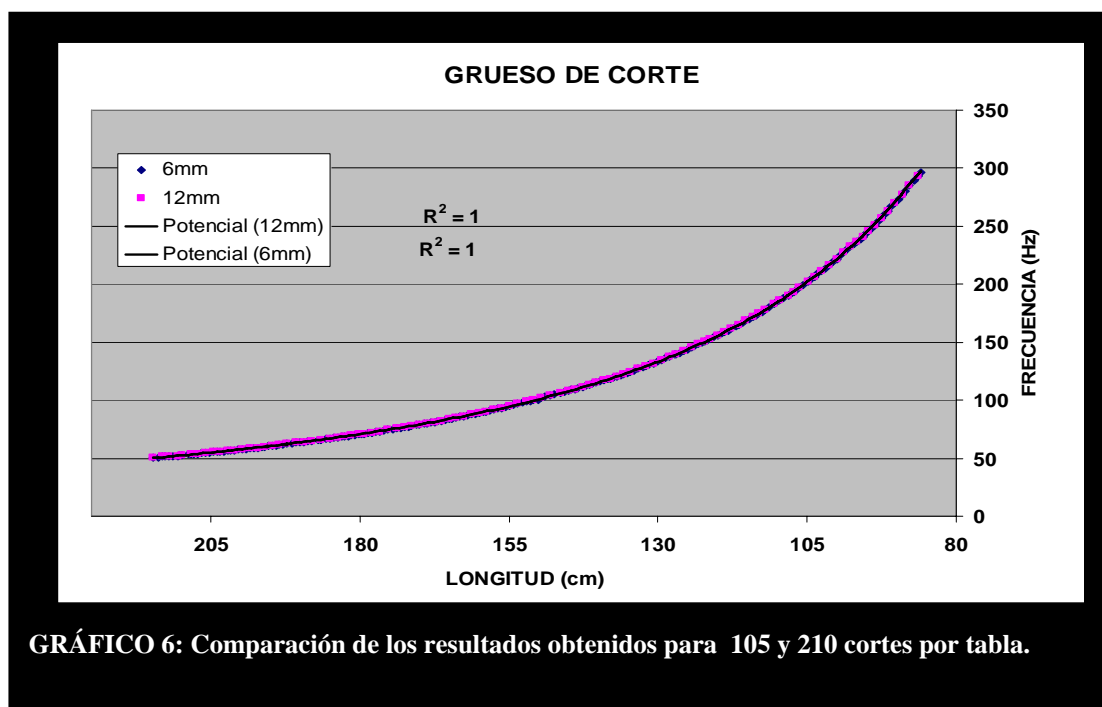
Se decidió no estudiar las frecuencias de los modos de vibraciones no transversales así como los pares transversales, por considerar su importancia relativa menor ya que tanto su duración, como su intensidad son menores, influyendo relativamente poco en el sonido. Además, al ser la tabla golpeada en el centro, antinodo de los modos de vibración transversal impares, estas frecuencias fueron reforzadas.

De cada golpe (gráfico 5) obtuvimos 4 datos que los ordenamos en una base de datos con la siguiente forma.

Nº Archivo	Longitud (cm)	1º Transversal (fundamental) (Hz)	3º Transversal (Hz)	5º Transversal (Hz)	7º Transversal (Hz)
1	214,50	55	284	673	1180

Una vez fueron obtenidos los datos de dos tablas y dispuestos en una hoja de cálculo, se representaron gráficamente. De cada una de estas funciones se extrajo una curva de regresión potencial que relacionaba esa variable con la longitud de la tabla.

De las dos primeras tablas (tabla 1 y 2) se obtuvieron 210 y 222 cortes respectivamente, cada 6 mm aproximadamente. De la nube de puntos se obtuvo una regresión para cada tabla. Se observó que el número de cortes era excesivo ya que el valor de la R^2 era el mismo tanto cogiendo todos los datos como cogiendo uno de cada dos. Por esta razón se decidió cortar al doble de grosor en las siguientes tablas y pasar de 6 mm a 12 mm. Abajo se puede observar el gráfico que representa lo antes explicado.



Esto es debido a que el ajuste que ofreció la regresión potencial a la nube de puntos, fue tan bueno que aun aumentando o disminuyendo el número de muestras apenas cambiaba

De las otras tres tablas fueron realizados cortes cada 12 mm aproximadamente con lo que obtuvimos la mitad de los golpes que en las anteriores.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LAS TABLAS

Las tablas, antes de ser estudiadas, fueron igualadas hasta conseguir que midieran lo mismo tanto en anchura como en grosor. La longitud no se igualó al entender que cuanto más material tuviera más datos se podrían obtener.

En la fase de preparación del material se incluyó el cepillado de las superficies con un cepillo eléctrico, más tarde fueron caracterizadas siendo pesadas y medidas y así se obtuvo la densidad aparente de cada tablón. Por otro lado con un xilohigrometro se midió la humedad de cada tabla y mediante un control visual se evaluaron cada una de las anomalías como nudos o fendas que presentaban las tablas. (Véase página siguiente)

CUADRO 1: Características físicas de las tablas									
CARACTERIZACIÓN DE LAS TABLAS									
Nº DE TABLA	DIMENSIÓN (cm)			PESO (kg)	VOLUMEN (m³)	DENSIDAD (kg / m³)		HUMEDAD*	
	LONGITUD	ANCHO	GRUESO			TABLA	DESVIACIÓN (%)	TABLA (%)	DESVIACIÓN (%)
1	214,5	15,1	5,1	9,828	0,01652	594,964	-2,935	9,367	-0,107
2	214,4	15,1	5,1	9,865	0,01651	597,482	-3,371	8,550	8,621
3	220,6	15,1	5,1	9,409	0,01699	553,848	4,178	9,967	-6,519
4	214,8	15,1	5,1	8,847	0,01654	534,829	7,469	9,667	-3,313
5	215,7	15,1	5,1	10,114	0,01661	608,872	-5,341	9,233	1,318
						577,999		9,357	

*El estudio de la humedad se realizó siguiendo las indicaciones de la EN 13183.2

CUADRO 2: Control visual de las tablas		
Nº	OBSERVACIONES	ESQUEMA
1	Fenda situada entre el cm 173 y el 191. Visible en el lomo de la tabla.	
2	Sin incidencias a la vista.	
3	Nudo sano de 2 cm de radio en el cm 106,2.	
4	Raja poco profunda en una de las testas.	
5	Nudo sano en el 17,5 cm de radio 0,3 cm, Nudo sano en el 123 cm de 0,5 cm de radio, Nudo sano en el cm 139,8 de 0,75 cm de radio.	
		(cm) 0 1/2 1
La flecha azul discontinua indica la dirección y el sentido de corte. Por lo que la testa de la derecha se mantiene siempre intacta. Las líneas continuas rojas indican fendas y los puntos negros nudos.		

3.3 CONDICIONES DEL LABORATORIO

Tras una toma de datos referentes a humedad y temperatura del laboratorio durante los diez días anteriores al experimento, mediante un termohigrómetro se establecieron como valores medios los siguientes.

T media	22,3 C°
Humedad media	53,8%

3.4 ELECCIÓN DEL MÉTODO DE REGISTRO

Respecto al instrumental necesario para la captación del sonido y su posterior toma de datos se eligió un micrófono exterior conectado a un ordenador capaz de realizar análisis de frecuencias.

Seguidamente se muestran, las diferentes opciones, los resultados obtenidos y la relación de condiciones en las que se realizaron las pruebas.

3.4.1 OPCIONES

Afinador de bolsillo conectado a

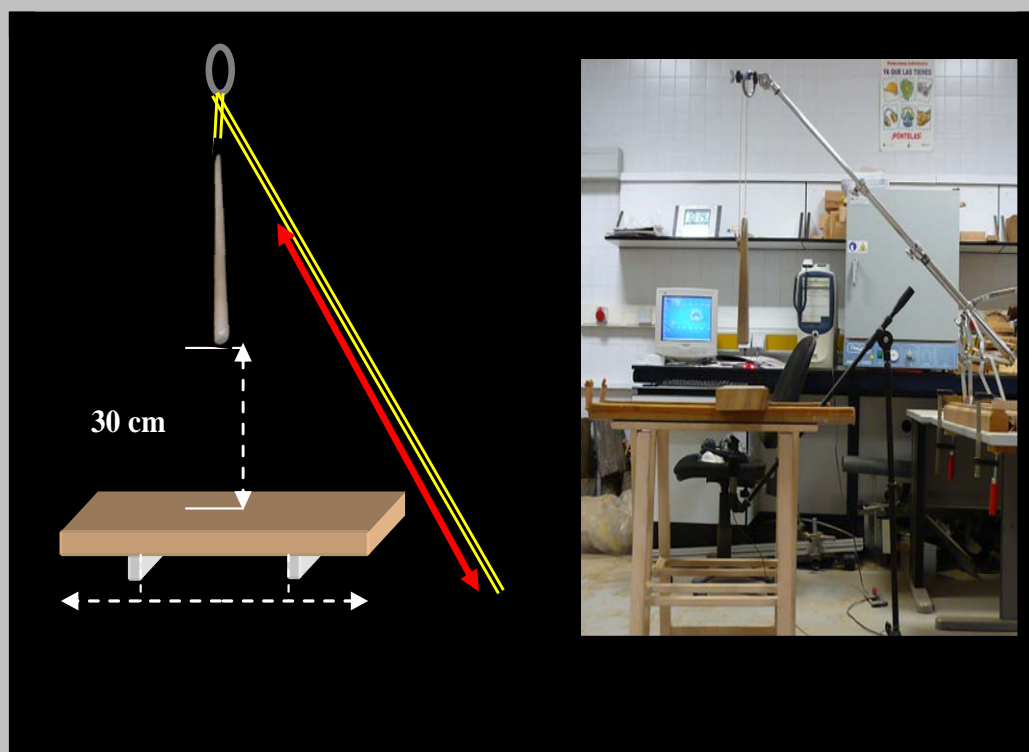
- Micrófono externo
- Micrófono de pastilla
- Micrófono de ventosa
- Micrófono interno

Equipo informático

3.4.2 CONDICIONES

- Tabla de fresno (*Fraxinus sp*) de 131 x 13 x 4 cm. Esta tabla se utilizó en el resto de las pruebas previas al experimento, pero no en el experimento.
- Biapoyada sobre las proporciones 0,25- 0,75.(véase 3.8.1)
- El golpe se realizó con la *makila* (véase 3.7)
- En el caso de micrófono externo conectado a un afinador de bolsillo, se utilizó el modelo Fonestar (véase 3.9.1) y fue situado debajo del centro de la tabla, enfocado hacia las tablas y a una separación de 12 cm.
- Cuando fue utilizado el afinador con micrófono interno, fue situado en la posición del micrófono antes mencionado.
- Se realizaron golpes estándar durante toda la fase previa, y se realizaron de la manera explicada en el cuadro 1 (véase CUADRO 3 de la página siguiente)

CUADRO 3 FOTO 2: Dispositivo utilizado para el lanzamiento de la *makila*



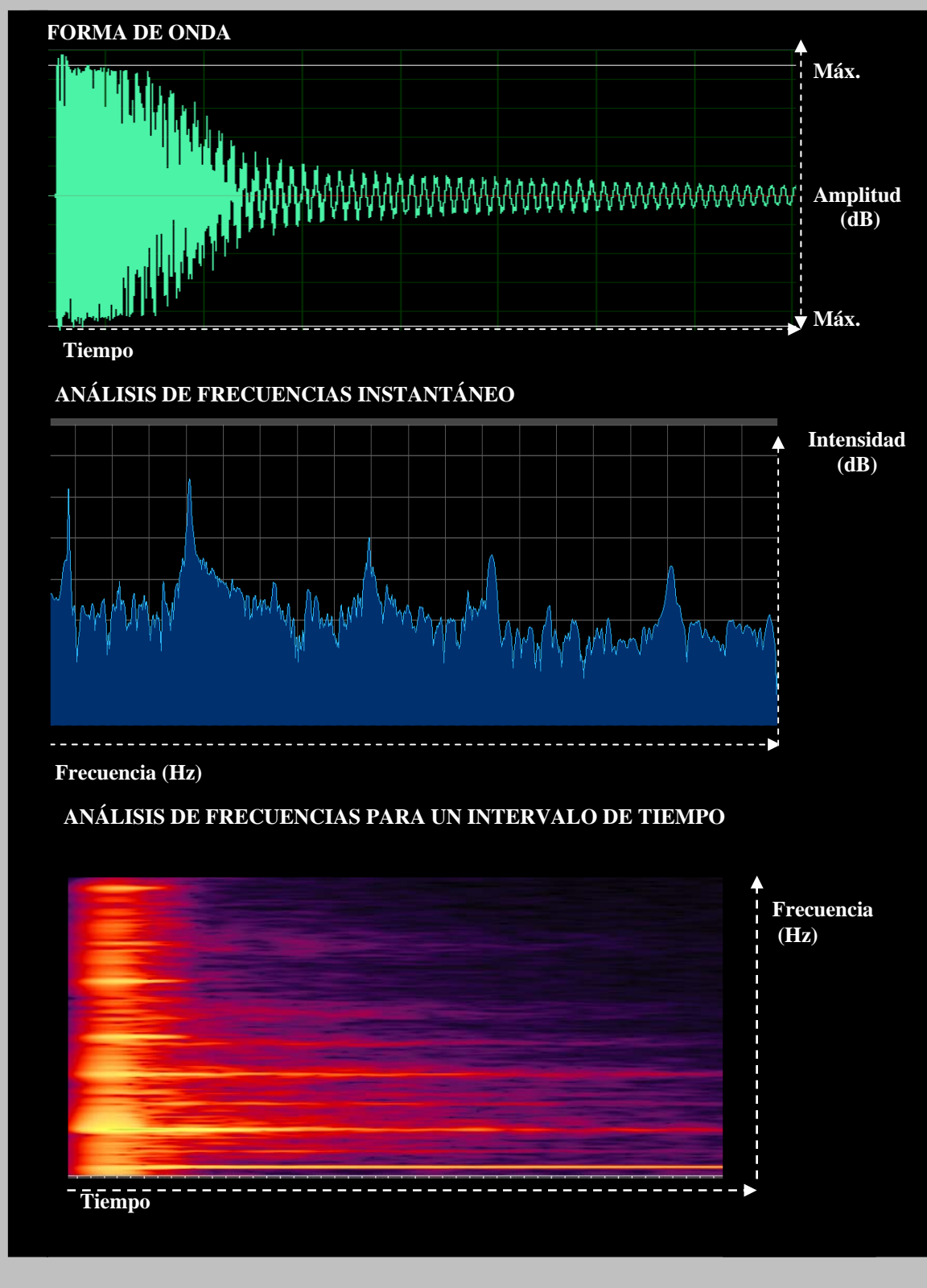
El anterior esquema y la fotografía representan el dispositivo creado para realizar el golpe estándar. Se ató una cuerda al extremo superior de la *makila* y haciéndola pasar por una polea, caía al desaparecer la fuerza que la mantenía suspendida. Esta caída producía un impacto cuya fuerza variaba en función de la altura de la que se dejara caer.

3.4.3 RESULTADOS

Por un lado se muestran los resultados registrados mediante los diferentes afinadores en el cuadro 5 y por otro, el resultado ofrecido por el ordenador en el cuadro 6 de la página siguiente.

CUADRO 4: Resultado con afinadores						
APARATO	ROMANZA MT3			KORG DT-3		
	Nota	Error	(Hz)	Nota	Error	(Hz)
Afinador + Pastilla	C	-5 Hz	125	C	-6 Hz	124
Afinador + Ventosa	C	-4 Hz	126	C	-5 Hz	125
Afinador + Micro	C	-5 Hz	125	B	+6 Hz	136
Afinador	No registra		-----	C	-6 Hz	124

CUADRO 5: Resultado obtenidos a traves del ordenador y Adobe Audition 2.0 ®



Tras el estudio y comparación de los resultados obtenidos por los diferentes modos de captación de sonidos, se decidió escoger el ordenador por las siguientes razones:

- Menos error: Habría que realizar un estudio comparativo para confirmarlo pero se presupuso que el error de los afinadores era mayor que el del conjunto de ordenador y micrófono.
- Más precisión
- Aporta más información
- Información más manejable
- Permite guardar registros (Digitalización de datos)

3.5 PROGRAMA UTILIZADO Y ESTANDARIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DE GRABACIÓN

Para hacer este estudio se utilizó el programa Adobe Audition 2.0®. Es una aplicación en forma de estudio de sonido destinado para la edición de audio digital. La última versión (3.0) se comercializó el 1 de noviembre de 2007.

3.5.1 VELOCIDAD DE MUESTREO

Es el número de muestras por segundo. Para reproducir un sonido con una frecuencia determinada, la velocidad de muestreo debe ser como mínimo el doble de la velocidad de muestreo. Por ejemplo un CD utiliza una velocidad 44100 Hz, registrando las frecuencias hasta 22050 Hz. Esto hace que cuando escuchamos un CD, estén presentes todas las frecuencias audibles.

En este caso fue elegida la velocidad de muestreo 11025 por ser la opción que cubría toda la tesitura de un piano y además debido a que los gráficos que creaba el programa utilizado eran más nítidos que cuando se grababa a 44100.

Se utilizó la tesitura del piano como valor de referencia dado el gran intervalo de frecuencias que cubre y por entender que el estudio de dicha franja era la que más interesaba. Dicha velocidad de muestreo rastrea las frecuencias comprendidas entre 0 y 5000 Hz.

3.5.2 CANALES

Se utilizó un único canal (modo mono) debido a que solo existía un foco de emisión y porque su trabajo posterior resulta más fácil.

3.5.3 RESOLUCIÓN

Hace referencia al número de bits utilizados para representar un sonido. Por ejemplo una resolución de 8 bits, proporciona 256 niveles de amplitud posibles y un rango dinámico que alcanza los 48 dB. En cambio una resolución de 16 bits nos ofrece 65.536 niveles de amplitud y un rango de 96 dB.

Se utilizó la resolución de 16 bit porque es la que se utiliza en la grabación de CDs por lo que se entendió que era de una calidad adecuada.

3.6 DESCRIPCIÓN DE LOS CABALLETES

Los caballetes se utilizan para apoyar los aislantes y aunque en el sonido no afectan, forman parte de la estructura del instrumento y del experimento.

En la foto se observa un caballete de haya sin barnizar y con las siguientes dimensiones.

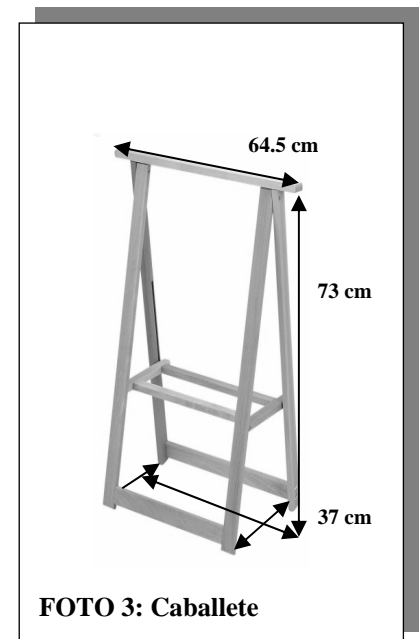


FOTO 3: Caballete

3.7 DESCRIPCIÓN DE LA MAKILA

La *makila* es el instrumento que golpea la tabla y que hace que vibre. Es la herramienta del *txalapartari* y dependiendo de esta el sonido es de una forma u otra pues el sonido real de un golpe es la suma del sonido que produce la tabla y del sonido que produce la *makila*.

Este estudio se centrará en la tabla dejando a un lado la incidencia de la *makila* en el sonido y centrándose en el conjunto de vibraciones propias de la tabla. Todos los golpes del experimento se dieron con la misma *makila* de las siguientes características.

CUADRO 6: Características de la <i>makila</i>			
PESO			187.88 g
DIMENSIONES	Longitud		35.5 cm
	Diámetro	Punta	1.7 cm
		Base	4,0 cm
VOLUMEN*			263.342 cm ³
DENSIDAD			0.713 g./ cm ³
ESPECIE			haya

*Volumen obtenido a partir de la formula:

$$V = [(S_{punta} + S_{base})/2] * Longitud$$



FOTO 4: Makila utilizada

3.8 ELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL TIPO DE AISLANTES

Para que la tabla vibre de una forma libre, debe estar apoyada sobre superficies flexibles capaces de soportar la vibración propia de la tabla. Antiguamente en la *txalaparta* tradicional se utilizaban pacas de paja, o matas de maíz como aislante. Hoy en día se utilizan materiales de origen sintético como la espuma o la goma.

Con intención de que la vibración sea lo más amplia y duradera posible hemos probado diferentes materiales para elegir el más adecuado.



3.8.1 OPCIONES

CUADRO 7: Análisis para obtener la densidad de cada material			
OPCIONES	VOLUMEN (cm ³)	PESO (gr)	DENSIDAD (gr / cm ³)
Goma negra	55,55	5,68	0,10
Espuma naranja	28,37	1,87	0,07

3.8.2 CONDICIONES

- Tabla de fresno (*Fraxinus sp*) de 131 x 13 x 4 cm.
- Biapoyado en las proporciones 0,25 - 0,75 sobre espuma naranja.
- El golpe se realizó con la *makila* antes definida.
- Golpe estándar.
- En el caso de micrófono usaremos el modelo Fonestar y lo situaremos debajo del centro de la tabla, enfocado hacia las tablas y a una separación de 12 cm.
- Golpeamos en el centro de la tabla.

3.8.3 ELECCION

Se eligió la espuma naranja porque, para un mismo golpe producía sonidos de mayor amplitud y porque la cola del golpe era más duradera.

3.9 ELECCIÓN DEL MICRÓFONO

3.9.1 OPCIONES: De entre las 4 opciones de las que se dispuso, tuvimos que elegir una.

CUADRO 8: Características técnicas de los micrófonos			
MICRÓFONO	frecuencia (Hz)	Impedancia (ohm)	Nivel de salida (dB)
PROAM MIC-700	60-17.000	600	-75
FONESTAR FDM-1020	80-12.000	600	-57
SHURE	80-12.000	150	-57
ECM-MS907	100-15.000	1.000	-51



3.9.2 CONDICIONES

- Tabla de fresno (*Fraxinus sp*) de 131 x 13 x 4 cm.
- Biapoyado en las proporciones 0,25 - 0,75 y sobre espumas naranjas.
- Golpe estándar.
- El micrófono se situara 12 cm por debajo del centro de la tabla.

3.9.3 RESULTADOS, COMPARACIÓN Y ELECCIÓN

Se observo que los 3 primeros micrófonos (PROAM, FONESTAR y SHURE) reflejaron bien el impacto presentando picos que alcanzaban el 85% de la amplitud. También se observó que dichos micrófonos, en comparación con el ECM, no fueron capaces de registrar toda la duración del sonido, reduciendo la cola del golpe.

Por otro lado el micrófono ECM (tanto en su versión 90° o en su versión 120°) captó el impacto de un modo similar, alcanzando la barrera del 85% de la amplitud. En cambio, el ECM fue capaz de registrar una mayor duración del sonido producido, presentando unas colas superiores. Esto nos indico que el ECM era más sensible que el resto de micrófonos estudiados a los sonidos menos intensos, por lo que resultó la opción más adecuada.

Entre las dos modalidades que ofrecía el micrófono ECM, se eligió el modo de 90° porque se observó una mayor precisión. Por un lado el desarrollo más amplio de la onda y por otro por la mayor duración del sonido registrado. Además, el hecho de que tuviese una pantalla de captación de 90° en vez de 120° hizo que la proporción de ruidos registrados fuese menor.

Por ultimo, haciendo una prueba de comparación subjetiva, se escucharon cada una de las muestras, siendo la del ECM 90° la que más gustó.

Así, una vez fueron estudiados y comparados cada uno de los registros producidos, se eligió el ECM 90°.

Para acabar este capítulo, decir que los grupos *Kepa Junkera* y *Oreka Tx* utilizan micrófonos modelos MD 421 y SHURE BETA 57^a respectivamente para las *txalapartas* de madera. Este hecho, dada la profesionalidad de los grupos hace que se pueda presuponer que sean los más adecuados y aunque en este estudio no se hayan utilizado es interesante nombrarlos.

3.10 ELECCIÓN DE LA SITUACIÓN DEL MICRÓFONO

La situación del micrófono resulta una cuestión de gran importancia, porque cada zona de la tabla irradia los sonidos propios de cada modo de vibración. Así, según cual sea el modo de vibración que se quiera transmitir mayoritariamente, se deberá colocar el micrófono en una posición o en otra.

Siendo el objetivo de este estudio obtener la relación entre la frecuencia fundamental a la que vibra una tabla y sus dimensiones. Se eligió el centro de la tabla por ser el lugar donde mejor se capta el sonido de dicho modo de vibración.

Así, un micrófono situado debajo del centro, recibirá el sonido del primer modo de vibración transversal directamente, debido a que el antinodo del primer modo de vibración transversal se encuentra en el centro de la tabla. Y aunque los sonidos correspondientes a los demás modos de vibración también serán registrados, aparecerán más levemente.

En la imagen de abajo, se puede observar la posible situación de los micros sobre la *txalaparta*. Se descartó colocar el micrófono en la parte superior de la tabla porque impediría el libre movimiento de los instrumentistas sobre el espacio.

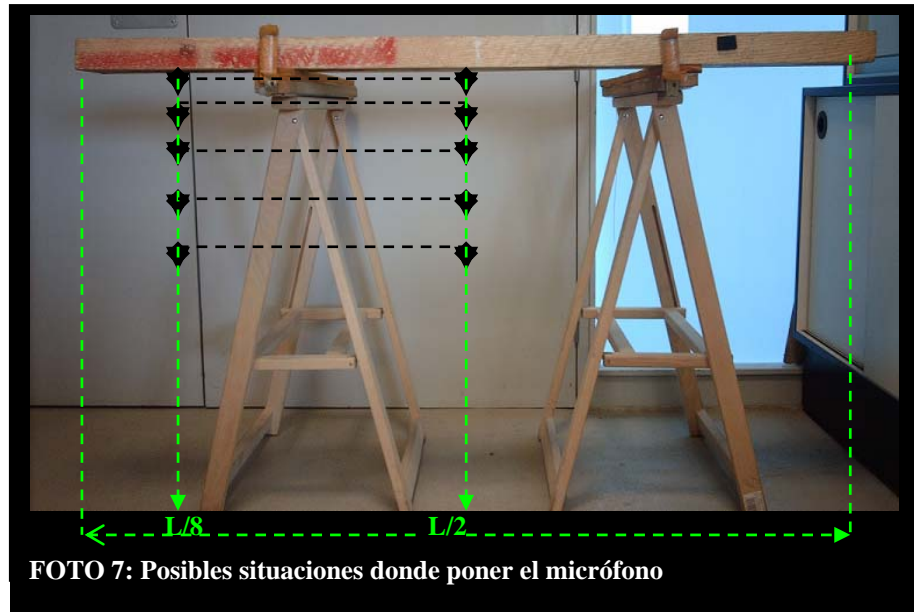
3.10.1 CONDICIONES

- Tabla de fresno (*Fraxinus sp*) de 131 x 13 x 4 cm.
- Biapoyada en las proporciones 0,25 - 0,75 sobre espuma naranja.

- Golpe estándar.
- El micrófono se situara en cada uno de los símbolos negros situados en la imagen.

3.10.2 ESQUEMA, RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En la siguiente imagen se observa las diferentes posiciones donde se efectuaron las pruebas. Cada símbolo negro representa un micrófono y distan de la tabla 1, 6, 12, 24 y 36 cm respectivamente.



Se observó que el sonido registrado en el extremo resultaba más seco, con atenuación abrupta, y se captaban los parciales más agudos. Por el contrario el sonido captado en el centro resultaba más duradero, más grave y más agradable.

Por otro lado la asimetría que supondría colocar un micrófono en un extremo, debería solucionarse colocando otro micrófono en el otro extremo, para que así el sonido producido por cada uno de los *txalapartaris* se captara de la misma forma. Observando tanto la primera como la segunda razón se optó por una colocación centrada.

De todas las posibilidades centrales, debimos elegir finalmente entre la altura de 12 cm y la de 1 cm porque ambas posiciones registraron una similar amplitud para el mismo golpe.

Para elegir la opción más adecuada se consultó a diferentes profesionales (ver bibliografía, entrevistas) los cuales coincidieron por un lado en la posición inferior del micrófono y por otro en la separación mayor a 1 cm entre el micro y la tabla.

La razón para descartar la opción de 1 cm es que un micrófono situado a esta distancia de la tabla, estaría excesivamente focalizado a dicha tabla y, teniendo

en cuenta, que una *txalaparta* puede tener del orden de 10 laminas, harían falta tantos micrófonos como laminas, aumentando excesivamente el coste económico de la sonorización del instrumento.

Finalmente, se realizó una audición comparativa entre las diferentes muestras y se eligió la posición de 12 cm como la que produjo un sonido más agradable.

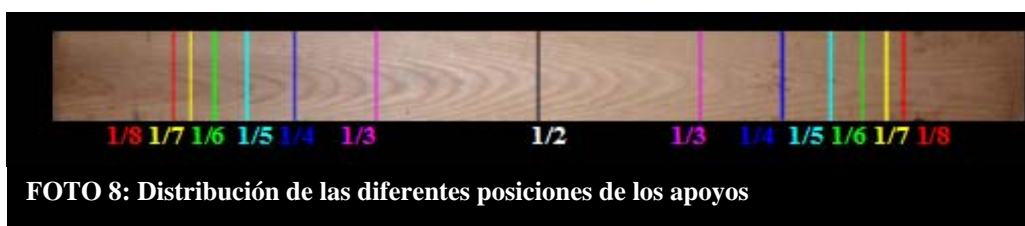
Tras el análisis de toda esta información, se eligió colocar el micrófono 12 cm debajo del centro de la tabla.

3.11 ELECCIÓN DE LA SITUACIÓN RELATIVA DE LOS APOYOS RESPECTO A LA TABLA

La situación de los apoyos, igual que otros factores, como el lugar de golpeo, la intensidad de golpeo,... varía el sonido producido por el golpe. Así, cada una de las posiciones de los apoyos facilita o dificulta, según el caso, el desarrollo de las vibraciones propias de cada modo de vibración. Es decir, que cada posición silencia unos parciales y fomenta otros. Como el estudio se centra en la vibración del primer modo transversal, la posición de los apoyos será aquella que maximice la amplitud de vibración de dicho modo.

3.11.1 OPCIONES

- $1/3$
- $1/4$
- $1/5$
- $1/6$
- $1/7$
- $1/8$



3.11.2 CONDICIONES

- Tabla de fresno (*Fraxinus sp*)
- Espuma naranja.
- Golpe estándar.
- El micrófono se colocó 12 cm por debajo del centro de la tabla.

3.11.3 RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

Se compararon entre sí cada uno de los golpes realizados, otra vez más se valoraron tanto la amplitud, como la duración del sonido además del reparto de los parciales creados. Se concluyó que los mejores 2 sonidos se obtenían con las proporciones $1/5$ y $1/4$.

El ideal sería apoyar la tabla sobre los nodos de la fundamental para así maximizar su amplitud. Sobre la posición de los nodos [Sánchez,F.J 2000] nombra la proporción 0,2242 como aquella donde se sitúan los nodos. Por otro lado Harkaitz, *txalapartari* de *Oreka TX*, utiliza la proporción 0,25 como la que mejor sonido ofrece.

Se eligió la proporción 0,25 por ser la proporción más fácil de señalar y por ser la usada por los profesionales. Además como se mencionaba anteriormente, los apoyos no modifican la posición de las líneas nodales, simplemente redistribuyen la intensidad relativa de cada parcial, es decir, un cambio en los apoyos, supone un cambio de las intensidades de cada parcial, no un cambio en las frecuencias de estos. Y es por esto, que como este estudio relaciona la frecuencia con la longitud, la intensidad a la que vibre no cambia el resultado.

El problema es saber donde están realmente las líneas nodales de cada tabla. Para eso existe un método, llamado el método de la sal, este método determina la posición de las líneas nodales para cada tabla. Aunque en la fase previa al experimento final fue utilizada, dado el tiempo y los medios que requería se descarto su uso en el experimento. Se adjunta un anejo con la explicación de dicho método.(véase 7.3)

3.12 ELECCIÓN DEL LUGAR DE GOLPEO

El lugar del golpeo es la variable que, a igualdad de condiciones, más cambios produce. Los *txalapartaris* que tocan *txalapartas* afinadas, golpean sobre la zona central de la tabla para resaltar el tono fundamental. En cambio los *txalpartaris* que tocan un instrumento atonal, disfrutan tocando en cada zona de la tabla, haciendo uso de todo el abanico timbrico ofrecido por la tabla.

3.12.1 OPCIONES:

Se estudiaron 5 opciones. El extremo, a un octavo, a un cuarto, a tres octavos y a la mitad.

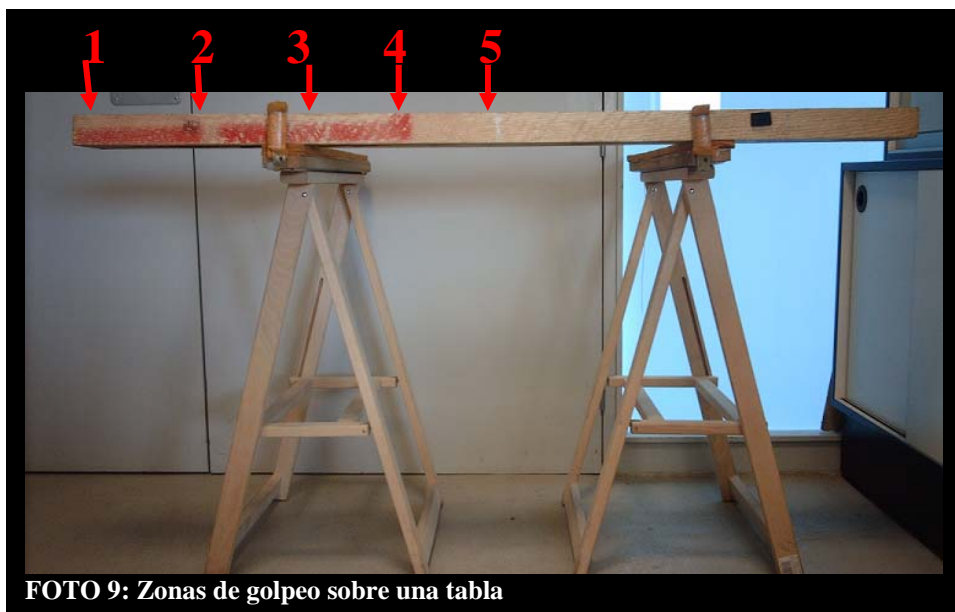


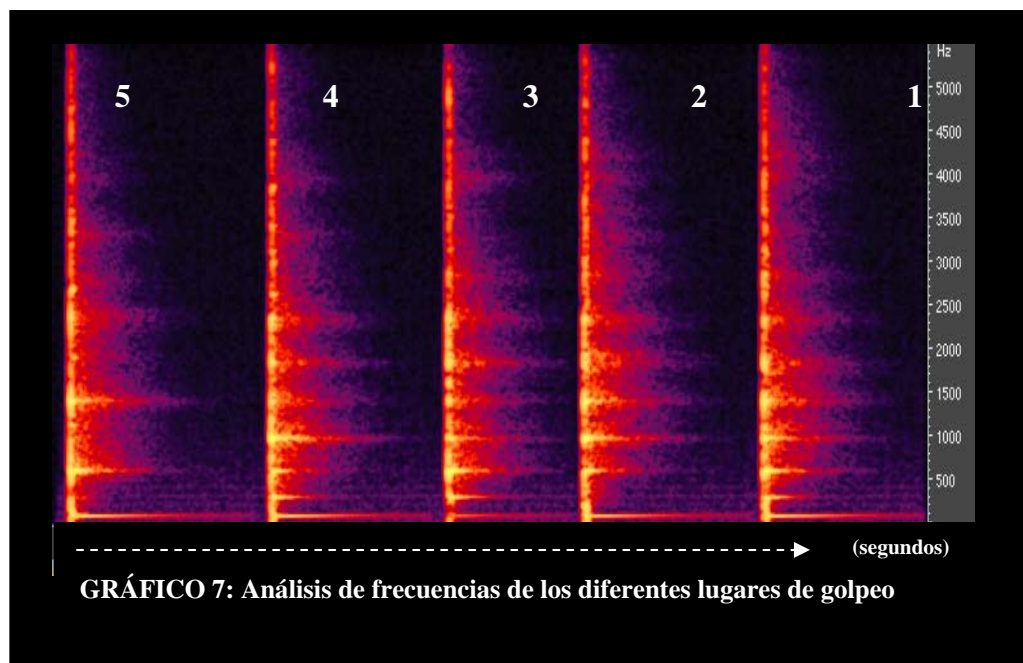
FOTO 9: Zonas de golpeo sobre una tabla

3.12.2 CONDICIONES

- Tabla de fresno (*Fraxinus sp*) de 131 x 13 x 4 cm.
- Biapoyado en las proporciones 0,25 - 0,75.
- Golpe estándar.
- Esponja naranja.
- El micrófono 12 cm por debajo del centro de la tabla.

3.12.3 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Una vez registrados los golpes, en el gráfico siguiente se observa la gran diferencia en el espectro producido. Se aprecia claramente como en el punto 5 los parciales son menos y están más definidos. En el resto en cambio, aparecen series de parciales más cercanas entre si y que pertenecen a modos de vibración torsionales o longitudinales. También se observa como en el golpe numero tres la frecuencia fundamental es menos intensa que en las demás. Esto es debido a que el punto 3 es el que se sitúa encima del nodo de la fundamental, lo que produce la atenuación de la misma.



Se eligió el golpe 5 por ser el golpe que parciales más claros y distanciados tenía.

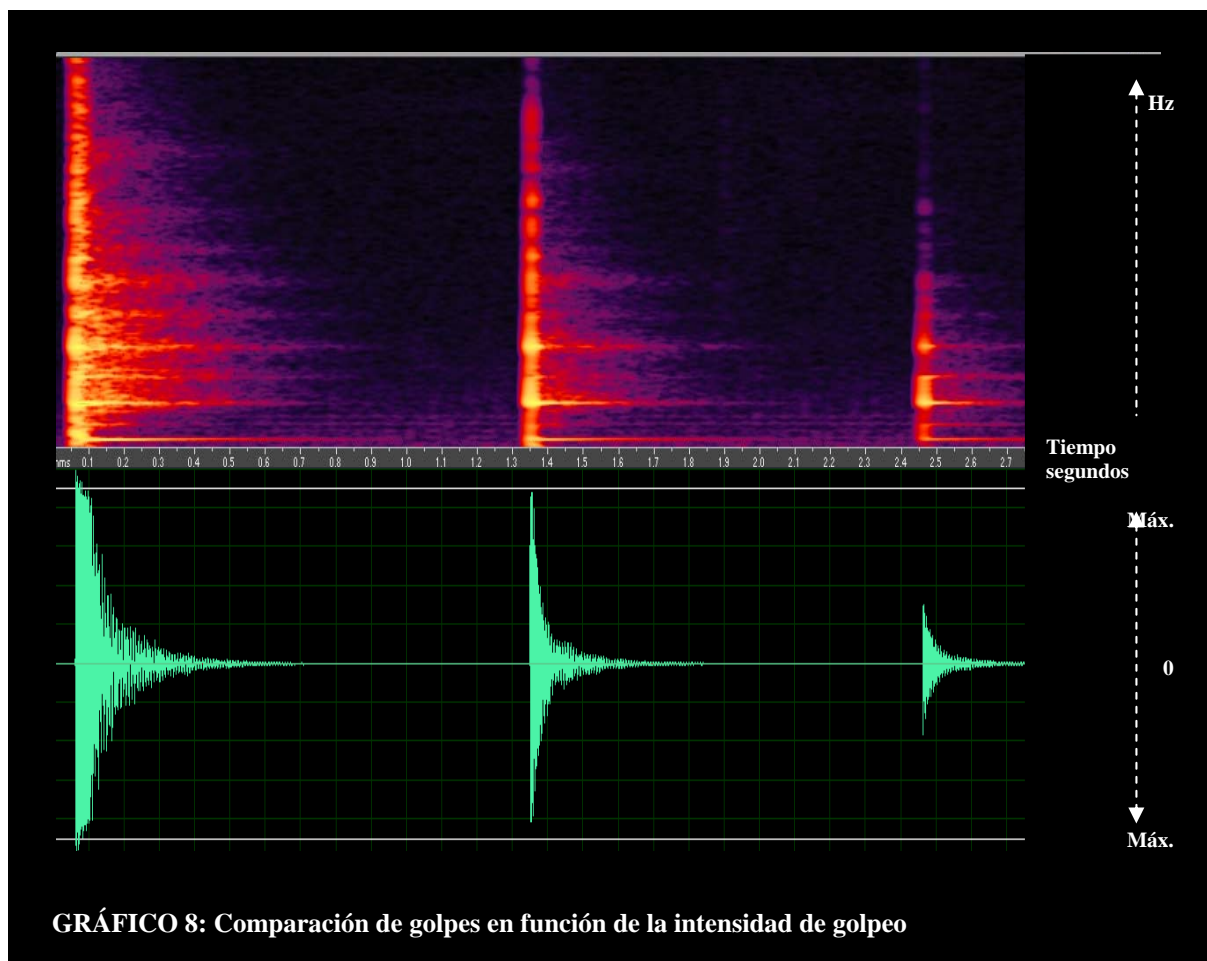
3.13 ELECCIÓN DE LA INTENSIDAD DE GOLPEO

La variación medida y ordenada de la intensidad es uno de los recursos más utilizados por los *txalapartaris*. Dicha variación puede crear todo tipo de ritmos y todos formados desde una base dinámica simple.

La intensidad con la que la *makila* golpea la tabla varía el sonido que esta produce en la tabla. Golpes de poca intensidad excitan un rango menor de frecuencias que los golpes de mucha intensidad. Las frecuencias más agudas requieren una mayor energía para activarse por lo que solo suenan cuando se golpea fuertemente.

Con la intención de estandarizar el golpe y de poder cuantificarlo, se diseño un dispositivo que permitiera la suspensión de una polea. Mediante la polea y una cuerda atada a la *makila*, se pudo medir la energía del impacto en función de la altura desde la cual cayera. (Cuadro 4 pagina 18)

El siguiente gráfico representa el sonido producido por tres golpes de intensidad decreciente realizados manualmente. En el primer golpe la serie de parciales es mucho más numerosa que en el segundo y tercer caso. En el segundo golpe vemos que, al igual que en el primero, la frecuencia fundamental esta excitada, pero que en cambio la serie de parciales es mucho menos numerosa. Esto hace que la percepción del tono sea más fácil. Por ultimo, vemos como en el tercer golpe existe un pico de intensidad entre el tercer y cuarto parcial y como las frecuencias superiores a 2000 Hz casi no presentan vibración.



Se analizaron los cinco golpes producidos por la *makila* al caer desde 30, 25, 20, 15, 10 cm respectivamente.

3.13.2 CONDICIONES DE MUESTREO

- Tabla de fresno (*Fraxinus sp*) de 131 x 13 x 4 cm.
- Biapoyado en las proporciones 0,25 - 0,75.
- Golpe estándar.
- Espuma naranja.
- El micrófono se 12 cm por debajo del centro de la tabla.

3.13.3 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Tras hacer un análisis de los resultados se decidió elegir la altura de lanzamiento de 30 cm porque era aquella que parciales más diferenciados producía y no se tomaron medidas mayores de 30 cm por entender que esta era una intensidad representativa de la forma más común de tocar la *txalaparta* afinada.

3.14 ELECCIÓN DE LA ESPECIE

Se eligió el Iroko (*Chlorophora excelsa*) para realizar el experimento por ser de las especies conocidas, utilizadas y bien valoradas por el grupo Jo Tta Kun, aquella que menor coste económico tenía.

Se despreciaron opciones como el roble centroeuropeo o el cerezo, que habiendo sido recomendadas por *txalapartaris* profesionales, alcanzaban precios excesivamente altos.

.4. ANÁLISIS Y RESULTADOS:

En las siguientes páginas se muestran los cuadros de datos del experimento. Estos datos, como se explicó anteriormente (3.1 Introducción), se han dividido en 6 columnas. La primera columna hace referencia al numero de archivo con el que se registro el golpe. La segunda a la longitud de la tabla cuando se registro el golpe. Y las siguientes corresponden a las frecuencias a las que han vibrado cada uno de los parciales estudiados.

Numero de la tabla a la que corresponden los datos.

Resultados en Hz

TABLA 1		MODOS TRANSVERSALES (Hz)						MODOS TRANSVERSALES (Hz)			
Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º	Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º

Longitud de la tabla en cm

Numero de archivo con el que se registro dicho sonido.

CUADRO 9:

TABLA 1		MODOS TRANSVERSALES (Hz)						MODOS TRANSVERSALES (Hz)			
Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º	Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º
1	214,6	50,30	261,7	623	1090	51	182,5	68,63	356,8	830	1414
2	213,8	50,46	263,7	628	1097	52	181,9	69,14	359,5	835	1421
3	213,1	51,14	265,1	631	1100	53	181,5	69,98	361,3	839	1426
4	212,6	51,14	266,4	633	1107	54	180,9	70,15	363,3	842	1435
5	212,0	51,14	267,8	637	1112	55	180,2	70,48	365,7	848	1440
6	211,4	51,81	269,1	641	1118	56	179,7	70,82	367,7	854	1449
7	210,6	51,81	271,1	645	1124	57	179,2	71,16	369,7	857	1454
8	210,2	52,48	272,5	647	1131	58	178,6	72,00	372,4	863	1463
9	209,8	52,48	273,8	649	1134	59	178	72,16	374,8	870	1468
10	208,8	53,16	275,2	654	1138	60	177,4	72,67	377,3	874	1474
11	208,4	53,16	276,9	658	1146	61	176,7	73,17	380,0	880	1483
12	207,9	53,49	278,2	661	1147	62	176	73,85	383,3	886	1494
13	207,2	53,83	279,7	663	1158	63	175,3	74,35	386,5	892	1500
14	206,5	54,16	281,6	669	1165	64	174,5	75,02	389,6	902	1509
15	205,9	54,50	283,1	672	1166	65	173,8	75,53	392,1	907	1516
16	205,2	54,67	284,9	676	1175	66	173,2	76,03	394,9	913	1521
17	204,6	55,17	286,6	679	1179	67	172,4	76,71	398,1	920	1536
18	203,9	55,51	288,3	683	1192	68	171,9	77,21	400,8	924	1540
19	203,4	55,68	289,8	686	1193	69	171,3	77,72	403,0	930	1547
20	202,9	56,01	291,3	690	1199	70	170,6	78,56	406,2	939	1559
21	202,2	56,35	293,2	695	1204	71	170	78,89	408,7	941	1561
22	201,7	56,69	294,7	697	1213	72	169,3	79,57	412,6	951	1575
23	201,1	57,02	296,4	699	1218	73	168,7	80,41	415,5	958	1584
24	200,5	57,36	298,1	704	1223	74	168,1	80,74	418,0	961	1586
25	199,7	57,53	300,1	710	1231	75	167,5	81,25	420,9	968	1598
26	199,1	58,03	301,8	713	1234	76	166,9	81,92	423,9	976	1609
27	198,5	58,54	303,8	715	1244	77	166,3	82,43	426,1	980	1614
28	197,8	58,87	305,8	720	1251	78	165,7	83,02	429,8	986	1620
29	197,2	59,04	307,6	725	1256	79	165,1	83,68	432,5	995	1630
30	196,5	59,55	309,7	730	1266	80	164,5	84,22	435,5	1001	1635
31	196,0	60,05	311,5	733	1267	81	163,9	84,87	438,7	1006	1650
32	195,4	60,22	313,2	735	1275	82	163,3	85,62	441,9	1014	1658
33	194,7	60,56	315,2	741	1282	83	162,7	86,21	444,9	1017	1664
34	194,1	61,06	317,2	745	1290	84	161,9	87,14	449,1	1025	1678
35	193,5	61,40	319,4	750	1296	85	161,3	87,81	452,5	1035	1681
36	192,9	61,73	321,3	754	1301	86	160,6	88,42	455,8	1037	1689
37	192,3	62,24	323,5	759	1312	87	160	88,99	459,0	1045	1690
38	191,4	62,74	326,1	764	1315	88	159,3	89,91	463,1	1054	1700
39	190,7	63,25	328,8	770	1326	89	158,8	90,50	465,8	1056	1710
40	190,0	63,75	330,9	776	1336	90	158,3	91,17	468,8	1069	1723
41	189,3	64,09	333,0	780	1344	91	157,6	92,18	472,5	1071	1727
42	188,7	64,43	335,6	784	1351	92	156,8	92,86	476,7	1076	1738
43	188,0	65,10	337,9	789	1356	93	156,2	93,53	480,2	1080	1746
44	187,0	65,60	340,6	796	1365	94	155,6	94,30	483,9	1085	1753
45	186,5	65,94	342,1	799	1367	95	154,9	95,13	487,6	1090	1764
46	185,7	66,45	345,8	805	1381	96	154,2	96,05	491,7	1106	1783
47	185,0	66,95	348,0	813	1389	97	153,6	96,89	496,2	1113	1794
48	184,3	67,45	350,5	817	1391	98	152,7	97,74	500,4	1117	1799
49	183,7	67,96	352,7	821	1403	99	152,1	98,65	504,6	1127	1808
50	183,1	68,30	354,9	825	1409	100	151,5	99,34	508,0	1136	1819

TABLA 1		MODOS TRANSVERSALES (Hz)						MODOS TRANSVERSALES (Hz)			
Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º	Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º
101	150,9	99,92	511,7	1196	1830	156	117,0	163,60	829,8	1813	2640
102	150,1	100,01	515,4	1207	1842	157	116,5	165,20	837,2	1825	2661
103	149,6	101,85	519,4	1218	1852	158	115,9	166,80	845,1	1846	2687
104	149,0	102,69	523,0	1227	1860	159	115,3	168,50	852,4	1865	2701
105	148,1	103,72	528,2	1237	1873	160	114,7	170,00	857,9	1876	2731
106	147,4	104,73	533,7	1244	1879	161	114,1	171,90	868,0	1890	2756
107	146,4	106,22	539,8	1259	1898	162	113,6	172,90	871,7	1898	2767
108	145,7	107,26	544,5	1270	1918	163	113,1	174,70	883,8	1913	2793
109	145,1	108,08	547,9	1277	1927	164	112,6	176,30	886,8	1923	2809
110	144,5	108,76	550,6	1285	1941	165	112,0	178,41	900,1	1938	2836
111	144,0	109,59	554,6	1288	1950	166	111,5	180,00	905,4	1950	2854
112	143,4	110,60	558,5	1301	1975	167	110,6	183,31	916,6	1967	2882
113	142,7	111,60	562,0	1313	1984	168	110,0	184,97	924,0	1984	2909
114	142,1	112,45	566,4	1317	1995	169	109,6	186,51	932,8	1998	2922
115	141,6	113,29	569,6	1325	2007	170	109,0	188,32	941,4	2011	2947
116	141,1	113,98	573,4	1335	2021	171	108,2	190,36	951,8	2025	2967
117	140,4	114,99	577,0	1344	2035	172	107,7	191,86	959,7	2034	2993
118	139,7	116,16	580,7	1356	2048	173	107,3	193,38	967,3	2045	3000
119	139,0	117,30	584,7	1365	2076	174	106,9	195,06	975,5	2051	3024
120	138,5	118,19	588,2	1374	2088	175	106,4	196,91	981,1	2060	3033
121	138,1	118,68	589,4	1378	2090	176	105,6	199,60	994,9	2073	3069
122	137,6	119,69	593,8	1388	2107	177	104,9	202,13	1005,0	2089	3096
123	136,9	120,86	596,8	1402	2116	178	104,4	204,48	1018,0	2108	3114
124	136,3	121,88	601,4	1410	2122	179	103,8	206,66	1025,0	2120	3135
125	135,7	122,73	603,9	1418	2145	180	103,2	209,03	1038,0	2131	3160
126	135,2	123,74	608,4	1426	2159	181	102,6	211,38	1046,0	2146	3166
127	134,7	124,80	609,6	1436	2173	182	102,0	213,90	1058,0	2158	3176
128	134,1	125,80	612,3	1450	2185	183	101,3	216,93	1073,0	2175	3181
129	133,3	127,10	617,3	1466	2193	184	100,7	219,45	1082,0	2204	3198
130	132,6	128,30	620,5	1475	2202	185	100,0	221,81	1093,0	2227	3211
131	132,1	129,50	625,3	1481	2209	186	99,5	224,50	1106,0	2245	3243
132	131,6	130,80	628,6	1488	2219	187	98,8	227,36	1118,0	2279	3272
133	130,8	132,00	632,0	1508	2239	188	98,4	229,38	1125,0	2302	3292
134	130,1	133,40	635,0	1518	2243	189	97,7	232,24	1137,0	2314	3318
135	129,4	134,70	639,6	1531	2254	190	97,1	234,76	1150,0	2350	3355
136	128,8	136,20	642,7	1541	2277	191	96,6	236,50	1156,0	2368	3390
137	128,1	137,20	647,0	1554	2283	192	96,1	238,70	1166,0	2394	3404
138	127,3	139,10	667,0	1577	2290	193	95,7	240,99	1178,0	2419	3425
139	127,0	139,20	689,0	1584	2297	194	95,3	242,67	1184,0	2436	3439
140	126,4	140,80	700,0	1593	2310	195	94,7	245,70	1195,0	2451	3469
141	125,8	142,40	706,5	1603	2328	196	94,3	248,05	1203,0	2471	3510
142	125,1	144,00	720,0	1621	2359	197	93,7	250,91	1215,0	2506	3562
143	124,4	145,50	731,0	1634	2381	198	93,2	253,77	1229,0	2521	3592
144	123,9	146,60	739,0	1650	2398	199	92,6	256,80	1242,0	2542	3615
145	123,3	148,20	758,0	1667	2407	200	92,1	259,99	1254,0	2582	3641
146	122,6	149,50	762,7	1680	2425	201	91,5	262,80	1267,0	2623	3669
147	122,1	150,90	768,8	1690	2458	202	90,9	266,56	1281,0	2645	3689
148	121,8	151,50	773,5	1699	2469	203	90,3	269,92	1293,0	2674	3721
149	121,2	153,00	778,5	1710	2490	204	89,6	273,62	1309,0	2704	3751
150	120,6	154,70	788,1	1730	2518	205	89,0	276,99	1320,0	2721	3788
151	120,0	155,90	792,8	1744	2536	206	88,5	280,60	1337,0	2746	3811
152	119,4	157,40	800,2	1752	2553	207	87,8	285,06	1353,0	2782	3843
153	118,8	158,90	807,8	1769	2578	208	87,1	289,27	1369,0	2822	3870
154	118,2	160,30	813,0	1790	2599	209	86,4	293,31	1386,0	2851	3911
155	117,7	162,00	821,7	1802	2621	210	86,0	296,50	1398,0	2882	3938

CUADRO 10:

TABLA 2		MODOS TRANSVERSALES (Hz)						MODOS TRANSVERSALES (Hz)			
Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º	Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º
1	214,5	52,31	272,6	637	1117	56	185,3	69,81	361,0	834	1435
2	213,8	52,65	274,2	640	1119	57	184,7	70,31	363,0	839	1447
3	212,7	53,16	276,9	647	1129	58	184,1	70,65	365,2	843	1453
4	212,0	53,49	278,7	649	1136	59	183,4	71,16	367,5	849	1463
5	211,7	53,66	279,4	651	1141	60	182,8	71,83	370,4	855	1473
6	211,4	53,83	280,2	655	1144	61	182,3	72,16	371,7	859	1477
7	210,9	54,00	281,4	656	1149	62	182	72,50	372,9	861	1481
8	210,4	54,16	282,6	658	1150	63	181,5	72,84	374,9	866	1489
9	209,9	54,50	284,1	661	1156	64	181	73,17	377,1	871	1499
10	209,6	54,67	284,9	664	1164	65	180,4	73,51	379,5	876	1503
11	209,0	55,01	286,3	666	1167	66	179,7	74,02	381,8	880	1514
12	208,7	55,17	287,5	669	1169	67	179,3	74,35	383,7	886	1519
13	208,0	55,51	289,1	672	1170	68	178,7	74,86	386,5	890	1528
14	207,4	55,85	290,6	676	1185	69	178,2	75,36	388,1	895	1538
15	206,8	56,01	292,3	679	1188	70	177,8	75,70	390,1	902	1540
16	206,2	56,52	293,8	683	1191	71	177,2	76,20	392,3	907	1550
17	205,7	56,86	295,2	686	1198	72	176,5	76,71	395,1	911	1561
18	205,4	57,02	296,2	687	1202	73	175,9	77,21	397,4	918	1571
19	204,8	57,19	297,7	691	1207	74	175,3	77,72	400,1	924	1582
20	204,4	57,53	299,1	694	1212	75	174,7	78,22	402,5	930	1589
21	203,8	57,70	300,6	696	1216	76	174,1	78,89	405,7	936	1597
22	203,5	57,70	301,1	697	1218	77	173,5	79,23	407,9	940	1612
23	203,3	58,20	302,1	701	1225	78	172,9	79,90	410,6	947	1617
24	202,8	58,37	303,8	705	1227	79	172,3	80,41	413,6	956	1627
25	202,2	58,71	305,5	709	1235	80	171,6	81,08	416,5	960	1634
26	201,6	59,04	306,8	711	1244	81	171	81,59	419,2	963	1648
27	201,0	59,72	308,3	715	1247	82	170,5	82,09	421,5	973	1660
28	200,5	59,72	310,3	718	1254	83	170	82,60	423,9	976	1667
29	199,8	60,05	312,3	724	1262	84	169,5	83,10	426,9	981	1673
30	199,3	60,56	314,2	728	1268	85	168,9	83,60	429,1	987	1681
31	198,8	60,73	315,4	730	1273	86	168,4	84,11	431,4	992	1691
32	198,2	61,06	317,2	733	1278	87	167,9	84,54	434,0	998	1700
33	197,8	61,40	318,6	738	1281	88	167,3	85,12	436,6	1003	1704
34	197,4	61,73	319,9	743	1284	89	166,8	85,79	439,7	1010	1719
35	196,7	62,07	321,8	744	1294	90	166,2	86,30	442,4	1014	1731
36	196,1	62,41	323,6	749	1299	91	165,7	86,80	444,9	1022	1742
37	195,6	62,74	325,5	753	1309	92	165	87,47	448,4	1029	1754
38	195,0	63,08	327,5	758	1312	93	164,4	88,15	451,4	1038	1761
39	194,6	63,42	329,0	759	1318	94	163,9	88,65	454,1	1041	1770
40	193,8	63,92	331,2	767	1325	95	163,3	89,32	457,3	1047	1784
41	193,3	64,26	332,9	771	1338	96	162,8	89,93	459,9	1053	1790
42	192,8	64,59	334,6	774	1344	97	162,3	90,50	463,2	1061	1803
43	192,3	64,93	336,6	778	1349	98	161,7	91,17	466,4	1067	1813
44	191,8	65,27	338,1	782	1355	99	161,1	91,67	469,0	1073	1821
45	191,3	65,60	339,6	785	1362	100	160,6	92,27	471,7	1079	1826
46	190,8	65,94	340,9	790	1368	101	160,1	93,03	475,0	1084	1841
47	190,4	66,11	342,5	792	1371	102	159,5	93,70	478,4	1093	1854
48	189,9	66,61	344,5	798	1380	103	158,9	94,37	482,4	1101	1868
49	189,3	66,95	346,3	800	1390	104	158,3	95,04	485,2	1108	1871
50	188,7	67,29	348,7	806	1391	105	157,7	95,79	488,5	1119	1888
51	188,0	67,79	350,9	812	1402	106	157,2	96,39	491,7	1120	1899
52	187,5	68,30	353,1	814	1409	107	156,6	97,06	495,7	1128	1907
53	186,8	68,63	355,1	820	1421	108	156	97,90	499,4	1137	1922
54	186,3	69,14	357,3	826	1424	109	155,4	98,58	502,7	1146	1933
55	185,8	69,47	358,8	828	1431	110	154,8	99,25	506,0	1157	1944

TABLA 2		MODOS TRANSVERSALES (Hz)						MODOS TRANSVERSALES (Hz)			
Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º	Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º
111	154,4	99,75	509,0	1158	1952	168	123,0	156,20	771,9	1706	2740
112	154,0	100,20	510,9	1164	1959	169	122,5	157,71	778,3	1718	2780
113	153,5	101,01	514,2	1171	1973	170	121,9	159,22	784,9	1734	2810
114	152,9	101,70	518,1	1179	1981	171	121,2	160,90	793,5	1750	2825
115	152,5	102,20	520,5	1186	1990	172	120,7	162,30	798,2	1762	2846
116	151,7	103,10	525,4	1193	2005	173	120,1	163,78	806,9	1775	2856
117	151,1	104,04	529,9	1201	2019	174	119,5	165,70	813,6	1793	2871
118	150,6	104,73	534,1	1210	2028	175	118,8	167,30	820,2	1807	2890
119	150,0	105,60	537,2	1219	2042	176	118,3	168,90	829,3	1817	2901
120	149,3	106,40	541,8	1228	2054	177	117,7	170,90	837,4	1838	2909
121	148,8	107,30	542,2	1234	2068	178	117,0	172,68	846,5	1855	2921
122	148,3	108,00	548,8	1244	2077	179	116,4	174,70	854,3	1869	2953
123	147,4	109,00	554,0	1253	2094	180	115,8	176,39	861,8	1887	3006
124	147,0	109,78	558,0	1261	2109	181	115,3	177,80	868,8	1901	3025
125	146,4	110,79	563,0	1272	2126	182	114,7	179,25	874,1	1912	3046
126	145,8	111,78	566,9	1280	2132	183	114,2	181,10	885,0	1927	3066
127	145,2	112,50	571,5	1289	2149	184	113,7	182,78	890,5	1939	3075
128	144,7	113,20	574,5	1298	2157	185	113,0	184,96	900,1	1959	3092
129	144,2	113,80	577,6	1302	2168	186	112,3	186,82	909,2	1976	3107
130	143,8	114,80	581,8	1312	2179	187	111,9	188,49	915,6	1987	3130
131	143,2	115,50	585,9	1321	2189	188	111,4	190,19	925,0	2002	3181
132	142,8	116,49	589,8	1329	2204	189	110,8	192,10	933,8	2019	3210
133	142,3	117,20	594,0	1337	2212	190	110,2	194,55	943,5	2035	3250
134	141,7	118,00	597,4	1345	2230	191	109,6	196,57	953,8	2056	3286
135	141,5	118,60	600,2	1353	2238	192	109,0	198,59	961,9	2095	3306
136	140,8	119,70	605,3	1362	2248	193	108,3	200,94	972,5	2106	3324
137	140,3	120,40	608,8	1366	2265	194	107,7	203,30	982,7	2124	3355
138	139,9	121,20	612,6	1379	2280	195	107,1	205,16	992,2	2134	3392
139	139,2	122,38	617,3	1390	2291	196	106,5	207,52	1002,0	2158	3417
140	138,8	122,89	619,9	1391	2297	197	105,8	210,20	1012,0	2171	3434
141	138,3	124,06	624,9	1404	2309	198	105,2	212,72	1024,0	2187	3468
142	137,8	125,08	630,0	1412	2328	199	104,5	214,91	1035,0	2203	3498
143	137,1	126,25	635,9	1422	2346	200	104,0	217,10	1044,0	2212	3509
144	136,5	127,27	641,1	1432	2362	201	103,4	219,79	1056,0	2234	3530
145	136,0	128,78	643,9	1442	2371	202	102,7	222,98	1074,0	2248	3576
146	135,5	129,90	649,5	1452	2386	203	102,0	225,68	1085,0	2284	3584
147	135,1	130,49	652,5	1459	2401	204	101,5	227,87	1092,0	2328	3600
148	134,5	131,13	658,9	1470	2417	205	100,9	230,23	1103,0	2347	3634
149	134,0	132,78	663,8	1481	2432	206	100,3	233,08	1116,0	2368	3676
150	133,4	133,45	667,5	1490	2451	207	99,7	235,94	1134,0	2384	3713
151	133,9	134,32	671,9	1497	2465	208	99,0	238,80	1142,0	2416	3788
152	132,5	135,06	675,6	1507	2475	209	98,2	241,99	1154,0	2443	3835
153	132,0	135,86	680,8	1516	2485	210	97,8	244,51	1167,0	2470	3867
154	131,4	137,18	686,3	1530	2503	211	97,3	246,87	1177,0	2484	3904
155	130,9	138,36	691,5	1540	2531	212	96,5	250,57	1196,0	2516	3955
156	130,3	139,55	697,1	1554	2549	213	96,2	252,26	1199,0	2535	3975
157	129,7	140,50	702,5	1560	2569	214	95,6	255,12	1213,0	2555	4019
158	129,2	141,43	707,2	1573	2579	215	95,0	257,98	1225,0	2581	4046
159	128,6	143,24	713,4	1586	2598	216	94,5	260,50	1235,0	2596	4074
160	127,7	144,42	722,0	1602	2622	217	93,9	263,69	1249,0	2626	4123
161	127,2	145,55	727,5	1612	2639	218	93,2	267,57	1265,0	2642	4167
162	126,6	147,62	735,3	1625	2653	219	92,5	271,27	1280,0	2673	4219
163	126,1	148,96	739,5	1640	2683	220	91,8	275,47	1303,0	2732	4240
165	124,8	152,16	753,4	1667	2708	221	91,0	280,01	1315,0	2759	4326
166	124,2	153,50	760,7	1681	2710	222	89,9	286,74	1346,0	2797	4362
167	123,7	154,70	766,0	1693	2718						

CUADRO 11:

TABLA 3		MODOS TRANSVERSALES (Hz)						MODOS TRANSVERSALES (Hz)			
Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º	Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º
1	220,6	48,95	259,7	611	1081	51	165,8	86,55	445,9	1009	1723
2	219,4	49,62	262,2	618	1091	52	164,7	87,73	451,0	1022	1740
3	218,3	49,96	264,7	623	1102	53	163,7	88,99	455,8	1032	1757
4	217,4	50,46	266,9	628	1106	54	162,3	90,44	461,4	1045	1779
5	216,4	50,80	269,3	634	1116	55	161,3	91,60	466,3	1060	1793
6	215,3	51,30	271,6	639	1124	56	160,2	92,95	471,5	1071	1810
7	214,3	51,81	274,3	644	1135	57	159,1	94,30	476,4	1087	1832
8	213,2	52,31	277,2	651	1141	58	158,0	95,80	481,6	1103	1851
9	212,2	52,99	280,0	658	1155	59	156,7	97,31	486,1	1121	1872
10	211,0	53,49	282,7	665	1167	60	155,6	98,66	492,0	1135	1891
11	209,7	54,00	286,1	672	1171	61	154,5	100,33	496,9	1154	1919
12	209,0	54,50	288,3	677	1180	62	153,4	101,70	505,1	1168	1941
13	208,0	54,95	291,0	682	1190	63	152,3	103,20	513,4	1187	1959
14	206,8	55,59	294,3	690	1204	64	151,1	104,72	515,4	1201	1983
15	205,8	56,18	297,4	699	1214	65	150,0	106,40	523,8	1220	2009
16	204,6	56,69	300,6	707	1225	66	149,0	107,92	531,6	1241	2039
17	203,6	57,36	303,6	714	1237	67	147,8	109,78	541,8	1254	2063
18	202,5	57,94	306,8	723	1245	68	146,4	111,79	553,3	1280	2098
19	201,3	58,62	310,7	730	1258	69	145,1	113,79	561,0	1296	2120
20	200,4	59,13	313,4	736	1278	70	144,1	115,49	568,6	1317	2153
21	199,2	59,80	316,9	744	1284	71	143,0	117,40	576,0	1333	2193
22	198,2	60,45	320,4	751	1297	72	141,9	119,19	584,0	1348	2215
23	197,0	61,14	324,0	759	1313	73	140,7	121,21	593,6	1371	2260
24	196,0	61,68	327,3	766	1320	74	139,5	123,10	603,5	1390	2292
25	194,8	62,48	331,0	775	1329	75	138,3	125,40	613,3	1410	2313
26	193,9	63,08	334,7	783	1348	76	137,0	127,97	624,7	1430	2340
27	192,5	63,99	339,3	791	1356	77	135,6	130,30	636,9	1452	2376
28	191,4	64,66	342,5	797	1367	78	134,5	132,36	647,6	1468	2410
29	190,4	65,27	346,6	806	1382	79	133,5	134,49	658,4	1488	2427
30	189,3	66,05	350,5	813	1392	80	132,2	136,68	669,3	1502	2439
31	188,3	66,72	353,9	820	1407	81	131,1	138,86	679,8	1522	2454
32	187,2	67,55	358,1	829	1421	82	130,0	140,30	690,9	1542	2467
33	186,1	68,37	362,1	838	1437	83	129,0	143,24	702,1	1563	2481
34	185,0	69,14	366,0	846	1446	84	127,9	145,44	714,2	1587	2506
35	184,1	69,89	369,9	851	1458	85	126,8	147,70	725,2	1608	2530
36	183,0	70,58	373,9	860	1472	86	126,0	149,31	733,1	1620	2553
37	182,1	71,40	377,5	865	1487	87	124,9	151,82	746,5	1645	2577
38	181,0	72,25	381,7	874	1501	88	124,0	154,01	756,0	1666	2593
39	179,8	73,12	386,2	884	1518	89	122,9	156,60	768,2	1691	2610
40	178,7	74,12	391,1	896	1532	90	121,9	159,05	781,2	1711	2638
41	177,5	75,12	395,6	904	1550	91	120,8	161,42	790,6	1732	2675
42	176,4	76,13	400,7	911	1566	92	120,0	163,80	801,2	1757	2713
43	175,2	77,21	405,5	920	1584	93	119,2	165,62	811,1	1770	2733
44	174,1	78,22	409,9	927	1599	94	118,2	168,31	822,4	1795	2778
45	173,0	79,23	414,6	935	1614	95	117,2	171,34	835,9	1818	2813
46	171,8	80,24	419,3	952	1632	96	116,0	174,37	846,3	1832	2847
47	170,8	81,34	423,9	968	1646	97	115,2	177,73	863,0	1864	2867
48	169,2	82,86	430,4	978	1669	98	114,1	181,27	877,1	1894	2906
49	168,0	84,04	435,8	990	1685	99	113,6	182,78	885,5	1908	2923
50	167,0	85,22	440,9	998	1703	100	113,0	185,13	894,3	1925	2945

TABLA 3		MODOS TRANSVERSALES (Hz)						MODOS TRANSVERSALES (Hz)			
Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º	Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º
101	112,0	189,17	912,1	1954	2977	112	100,4	234,43	1115,0	2250	3346
102	111,0	192,71	929,9	1983	3012	113	99,3	239,64	1138,0	2281	3415
103	110,0	196,41	944,4	2012	3036	114	98,3	244,52	1162,0	2313	3476
104	109,0	200,10	961,7	2040	3080	115	97,3	249,23	1181,0	2346	3535
105	108,8	204,31	982,7	2060	3110	116	96,3	254,44	1200,0	2371	3603
106	106,9	208,01	997,9	2082	3142	117	95,0	260,84	1229,0	2409	3685
107	105,8	211,88	1014,0	2105	3189	118	93,8	267,56	1257,0	2439	3772
108	104,6	216,60	1039,0	2140	3210	119	92,7	273,96	1284,0	2469	3853
109	103,5	221,30	1058,0	2170	3250	120	91,5	280,86	1313,0	2494	3936
110	102,5	226,01	1080,0	2195	3298	121	90,2	288,43	1345,0	2534	4038
111	101,4	230,56	1103,0	2219	3337	122	89,2	294,99	1380,0	2561	4136

CUADRO 12:

TABLA 4		MODOS TRANSVERSALES (Hz)						MODOS TRANSVERSALES (Hz)			
Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º	Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º
1	214,8	49,62	260,7	614	1081	51	158,8	91,44	464,3	1031	1653
2	213,3	50,30	264,1	622	1088	52	158,2	92,18	467,1	1032	1655
3	212,2	50,80	266,8	627	1101	53	157,5	93,03	470,5	1039	1659
4	211,1	51,30	269,6	634	1111	54	156,9	93,77	474,0	1041	1679
5	209,8	51,98	272,8	639	1124	55	156,4	94,37	476,3	1047	1681
6	208,8	52,48	275,3	645	1129	56	155,8	95,21	480,4	1049	1689
7	207,5	53,16	278,5	651	1144	57	154,9	96,14	484,8	1058	1697
8	206,4	53,66	281,2	657	1151	58	154,3	96,97	488,3	1063	1700
9	205,4	54,33	284,1	663	1163	59	153,8	97,66	491,2	1071	1711
10	204,3	54,84	286,9	670	1170	60	153,2	98,34	493,9	1076	1719
11	203,3	55,34	289,6	676	1171	61	152,6	99,16	496,9	1078	1734
12	202,1	56,01	292,7	682	1190	62	152,0	99,84	500,4	1082	1750
13	201,3	56,52	295,2	688	1198	63	151,5	100,52	502,8	1086	1766
14	200,3	57,19	298,1	694	1210	64	150,9	101,36	506,5	1092	1775
15	199,3	57,50	300,9	697	1215	65	150,2	102,19	508,8	1098	1790
16	198,3	58,20	303,6	708	1227	66	149,7	102,88	511,4	1101	1806
17	197,3	58,87	306,8	712	1233	67	148,6	104,40	517,4	1109	1821
18	196,1	59,55	310,2	720	1244	68	147,5	106,07	523,6	1119	1831
19	194,9	60,39	314,0	729	1252	69	146,3	107,90	529,5	1135	1837
20	193,9	61,06	317,2	734	1265	70	145,2	109,43	534,4	1145	1853
21	192,7	61,73	320,9	746	1274	71	144,0	111,10	540,1	1154	1865
22	191,6	62,58	324,5	753	1282	72	142,8	113,13	545,3	1161	1887
23	190,6	63,25	327,8	760	1297	73	141,7	114,81	550,6	1166	1898
24	189,4	64,09	331,5	769	1315	74	140,6	116,70	555,3	1178	1905
25	188,5	64,59	335,1	776	1319	75	139,4	118,60	561,2	1194	1917
26	187,3	65,44	338,6	782	1333	76	138,3	120,60	567,4	1202	1938
27	186,4	66,11	341,8	792	1342	77	137,0	122,71	573,3	1213	1955
28	185,1	67,12	346,8	802	1359	78	136,0	124,40	577,8	1226	1973
29	183,8	68,13	351,0	814	1372	79	135,0	126,00	581,9	1245	2001
30	182,5	68,97	356,1	823	1383	80	133,8	128,30	588,4	1258	2010
31	181,3	69,98	360,6	835	1394	81	132,7	130,50	594,0	1267	2021
32	180,0	70,99	365,3	842	1410	82	131,3	132,70	599,3	1278	2037
33	178,9	71,83	369,5	853	1424	83	130,4	135,00	604,7	1283	2041
34	177,7	72,84	374,6	863	1440	84	129,2	137,60	611,0	1299	2072
35	176,5	73,85	379,8	874	1457	85	128,3	139,60	616,7	1310	2102
36	175,4	75,02	385,0	884	1472	86	127,2	142,62	623,1	1325	2140
37	174,3	75,96	389,9	898	1479	87	126,0	145,29	630,0	1344	2170
38	173,2	76,68	394,4	904	1490	88	125,0	147,42	635,2	1354	2210
39	172,0	77,88	399,5	917	1503	89	123,8	149,75	642,1	1366	2251
40	170,8	79,06	404,7	926	1514	90	122,6	152,49	650,0	1380	2287
41	169,6	80,17	410,4	937	1526	91	121,5	155,23	655,9	1392	2320
42	168,4	81,42	415,4	946	1540	92	120,3	158,38	662,9	1410	2360
43	167,4	82,33	420,5	955	1547	93	119,4	161,09	670,0	1431	2405
44	166,2	83,51	426,1	968	1559	94	118,2	164,10	675,9	1451	2444
45	165,2	84,53	431,0	976	1575	95	117,1	167,00	682,8	1480	2482
46	164,0	85,71	436,7	983	1585	96	116,0	170,00	689,0	1500	2520
47	162,8	87,06	443,2	996	1601	97	114,9	173,36	694,0	1532	2575
48	161,7	88,22	448,6	1004	1618	98	114,2	175,20	700,3	1560	2602
49	160,6	89,49	454,4	1010	1631	99	113,0	178,80	707,2	1582	2649
50	159,4	90,77	460,6	1023	1644	100	112,0	181,94	717,4	1604	2690

TABLA 4		MODOS TRANSVERSALES (Hz)						MODOS TRANSVERSALES (Hz)			
Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º	Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º
101	110,7	186,15	740,0	1634	2754	112	98,7	231,80	816,2	2003	3359
102	109,8	188,90	727,9	1666	2790	113	97,6	236,95	825,8	2050	3427
103	108,6	192,88	740,3	1697	2843	114	96,5	242,50	835,2	2080	3486
104	107,6	196,07	745,2	1724	2887	115	95,3	248,56	845,8	2134	3569
105	106,6	199,77	757,1	1752	2940	116	94,2	253,44	856,6	2162	3620
106	105,4	204,31	767,2	1787	2995	117	93,3	258,52	863,3	2195	3680
107	104,3	208,51	770,3	1820	3053	118	92,4	263,53	870,7	2235	3744
108	103,1	213,06	778,8	1872	3115	119	91,3	269,92	887,4	2271	3807
109	102,1	217,26	788,3	1895	3167	120	90,0	277,15	910,4	2330	3910
110	101,0	221,81	797,0	1938	3232	121	110,7	186,15	740,0	1634	2754
111	99,8	227,03	805,9	1975	3295	122	109,8	188,90	727,9	1666	2790

CUADRO 13:

TABLA 5		MODOS TRANSVERSALES (Hz)						MODOS TRANSVERSALES (Hz)			
Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º	Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º
1	215,6	51,64	274,7	639	1115	51	160,6	93,29	469,1	1041	1743
2	214,5	52,31	277,7	646	1127	52	159,5	94,46	473,5	1043	1760
3	213,4	52,65	280,0	651	1138	53	158,5	95,79	479,2	1045	1785
4	212,5	53,16	282,4	657	1149	54	157,4	97,13	484,8	1056	1810
5	211,4	53,83	284,9	662	1155	55	156,3	98,35	490,5	1069	1828
6	210,3	54,33	287,8	670	1169	56	155,2	99,69	496,1	1075	1846
7	209,2	54,84	290,1	675	1177	57	154,4	100,84	500,6	1085	1864
8	208,0	55,51	293,2	681	1188	58	153,4	102,18	505,6	1105	1895
9	206,8	56,01	296,2	688	1196	59	152,2	103,71	512,0	1106	1919
10	205,7	56,69	299,2	694	1206	60	151,1	105,06	517,3	1132	1940
11	204,5	57,36	302,3	703	1219	61	150,1	106,57	523,0	1145	1994
12	203,5	57,87	304,9	707	1229	62	149,0	108,26	527,8	1178	2040
13	202,3	58,54	308,0	714	1237	63	147,8	109,95	534,7	1206	2069
14	201,2	59,21	311,3	722	1247	64	146,4	111,80	540,8	1220	2085
15	200,0	60,05	314,7	730	1262	65	145,4	113,47	547,4	1243	2106
16	198,9	61,00	318,4	740	1273	66	144,4	114,98	551,2	1257	2125
17	197,8	61,57	321,6	748	1288	67	143,4	116,65	556,4	1273	2144
18	196,7	62,24	325,1	755	1298	68	142,3	118,40	562,5	1290	2156
19	195,6	62,91	328,5	763	1306	69	141,2	120,20	566,4	1300	2166
20	194,4	63,75	332,5	773	1321	70	140,0	122,40	575,0	1315	2175
21	193,3	64,59	335,9	777	1332	71	138,9	124,39	579,6	1329	2203
22	192,3	65,27	339,1	787	1342	72	137,9	125,93	584,0	1350	2212
23	191,2	65,94	342,8	796	1350	73	136,8	128,00	590,1	1360	2255
24	190,0	66,78	346,7	806	1358	74	135,6	130,28	596,2	1367	2285
25	189,0	67,72	350,0	812	1373	75	134,4	132,30	601,7	1390	2322
26	187,8	68,30	353,9	820	1383	76	133,4	134,66	603,4	1400	2356
27	186,7	69,14	357,8	830	1393	77	132,4	136,60	607,3	1412	2389
28	185,8	69,98	360,8	834	1399	78	131,1	139,20	613,0	1425	2427
29	184,6	70,82	364,8	841	1414	79	130,0	141,57	625,0	1434	2463
30	183,4	71,76	369,7	852	1427	80	128,8	144,10	631,1	1439	2480
31	182,3	72,67	373,6	873	1437	81	127,5	146,80	637,0	1450	2520
32	181,2	73,46	377,8	882	1450	82	126,4	149,29	645,1	1461	2560
33	180,0	74,46	382,5	889	1463	83	125,5	151,82	656,9	1480	2590
34	178,9	75,43	386,5	898	1471	84	124,4	154,84	673,0	1517	2630
35	177,7	76,44	391,4	910	1483	85	123,4	156,88	688,8	1535	2670
36	176,5	77,47	396,3	919	1499	86	122,2	160,27	699,1	1564	2717
37	175,1	78,56	401,6	931	1507	87	120,9	163,60	707,9	1587	2763
38	174,2	79,57	405,9	938	1515	88	119,7	166,79	723,5	1611	2806
39	173,1	80,48	409,9	944	1530	89	118,5	170,16	740,0	1630	2851
40	172,1	81,42	414,8	953	1538	90	117,4	173,20	763,9	1643	2870
41	171,0	82,43	419,5	962	1557	91	116,0	177,23	780,7	1664	2921
42	170,0	83,44	423,9	966	1579	92	114,9	180,75	799,9	1695	2960
43	169,0	84,35	427,9	974	1594	93	113,8	183,96	819,1	1720	3006
44	168,0	85,37	433,0	982	1611	94	112,8	187,49	835,9	1738	3045
45	166,9	86,55	438,4	991	1626	95	111,7	191,19	945,9	1757	2832
46	165,7	87,74	443,9	996	1643	96	110,6	194,55	959,7	1764	2877
47	164,5	88,96	449,5	1004	1664	97	109,5	198,76	978,7	1772	2938
48	163,5	90,92	454,7	1012	1697	98	108,2	202,97	997,7	1785	2989
49	162,4	91,11	459,2	1014	1704	99	107,1	207,00	1014,0	1841	3042
50	161,6	92,11	463,6	1027	1724	100	106,1	210,70	1033,0	1867	3097

TABLA 5		MODOS TRANSVERSALES (Hz)						MODOS TRANSVERSALES (Hz)			
Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º	Nº archivo	Longitud (cm)	1º	3º	5º	7º
101	105,0	214,91	1048,0	1881	3147	109	96,1	254,61	1215,0	2175	3800
102	103,8	219,96	1070,0	1939	3215	110	95,2	260,33	1240,0	2221	3863
103	102,8	223,83	1088,0	1954	3265	111	94,0	266,22	1263,0	2264	3912
104	101,7	228,88	1109,0	1994	3327	112	93,0	272,45	1291,0	2303	3952
105	100,6	233,42	1130,0	2032	3386	113	91,9	278,34	1315,0	2351	4039
106	99,6	238,13	1150,0	2075	3447	114	91,1	283,71	1339,0	2386	4067
107	98,4	243,18	1169,0	2091	3574	115	90,0	289,77	1362,0	2428	4086
108	97,4	248,89	1194,0	2143	3735						

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS:

Una vez obtenidos los datos, se eligió una regresión potencial para la creación de la relación por ser aquella que mejor se adaptaba al conjunto de puntos obtenidos en laboratorio.

Para demostrarlo se realizó un análisis donde se agregaron diferentes líneas de tendencia a las diferentes nubes de puntos con los siguientes resultados.

TABLA		Regresiones sobre la frecuencia FUNDAMENTAL				
		Lineal	Logarítmica	Exponencial	Polinómicas base 2	Potencial
1	R ²	0,8902	0,9509	0,9873	0,9906	1
2		0,897	0,9535	0,9881	0,9925	1
3		0,8908	0,9503	0,988	0,9902	0,999
4		0,8962	0,9546	0,9894	0,9924	0,9999
5		0,8956	0,9535	0,9886	0,9916	0,9999

Tras observar la tabla, se decidió seleccionar la potencial por ser aquella que mejor se ajustaba a la nube de puntos.

Todas las regresiones, obtenidas para cada parcial y tabla, han presentaron una R² muy cercana a uno. Esto demuestra que la relación entre la longitud y la frecuencia fundamental existe y que mantiene una relación constante para todas las tablas.

TABLA		Fundamental	2º parcial	3º parcial	4º parcial
1	R ²	1	0,9990	0,9976	0,9910
2		1	0,9998	0,9990	0,9850
3		0,9999	0,9997	0,9968	0,9962
4		0,9999	0,9790	0,9941	0,9941
5		0,9999	0,9919	0,9967	0,9957
General		0,9978	0,9977	0,9854	0,9790

Los valores mas altos de la R² han sido los referentes a la frecuencia fundamental, siempre mayores que el resto de sobretonos por lo que quedó demostrado que este es el resultado mas predecible. El ajuste de las curvas a la nube de puntos decrece en función del parcial, siendo mayor en los primeros y menor en los últimos. Además también se observa como el ajuste decrece al tener longitudes de tabla menores del metro y medio aproximadamente.

El valor más bajo de la R² ha sido el correspondiente al segundo parcial de la tabla 4. Con 0,9790, resulta el valor mas bajo y supone un cambio importante respecto a la media. Así mientras por ejemplo el segundo parcial de la tabla 1 solo se diferencia en 0,0013 de la media, la tabla 4 se diferencia 0,1870.

Esta caída de la R² está influenciada por las características propias de la tabla 4 que ahora revisaremos. En relación a los defectos propios de la tabla presentaba una fenda en una de sus testas inferior a 2 mm de grosor. En lo que respecta a las variables físicas de la propia pieza, por un lado tenemos la densidad que con 535 kg / m³ es la mas baja de todo el conjunto, suponiendo un desvío de un 7,47% sobre la media. Por otro lado esta la humedad la cual con un 9,67% que supone una desviación del 3,31%.

Con estas características además de las ofrecidas por el control visual (véase cuadro 2 y 3, capítulo 3.2) y de las características obtenidas en el laboratorio a la hora de trabajar, no se pudieron reunir argumentos suficientes para dar una explicación científica a dicho desvío. No existían nudos visibles ni se observaron anomalías durante el proceso de corte.

Cabe decir que aunque el ajuste de la curva general para todas las tablas baje, la dispersión de los puntos es reducida y regular, existiendo parecidos puntos por encima y por debajo y siendo similar la distancia respecto al eje de ordenadas. Esto quiere decir que aunque no se pueda señalar un punto con precisión total, si que se podría fijar dar un intervalo de confianza.

Finalmente se concluye que la relación existente entre la frecuencia fundamental y los siguientes tres parciales de una tabla de Iroko de las condiciones explicadas y su longitud es la siguiente:

FORMULA	R ²
$f_{fundamental} = \frac{2 \times 10^6}{L_{tabla}^{1.9632}}$	0.9978
$f_{segundo} = \frac{6 \times 10^6}{L_{tabla}^{1.8507}}$	0.9977
$f_{tercero} = \frac{4 \times 10^6}{L_{tabla}^{1.6253}}$	0.9854
$f_{cuarto} = \frac{6 \times 10^6}{L_{tabla}^{1.4664}}$	0.979
<i>f = Frecuencia expresada en Hz</i> <i>L = Longitud de la tabla en cm</i>	

Seguidamente se ofrece el conjunto de gráficos obtenidos para cada tabla, el resultado general y las relaciones entre los parciales de forma general.

TABLA 1

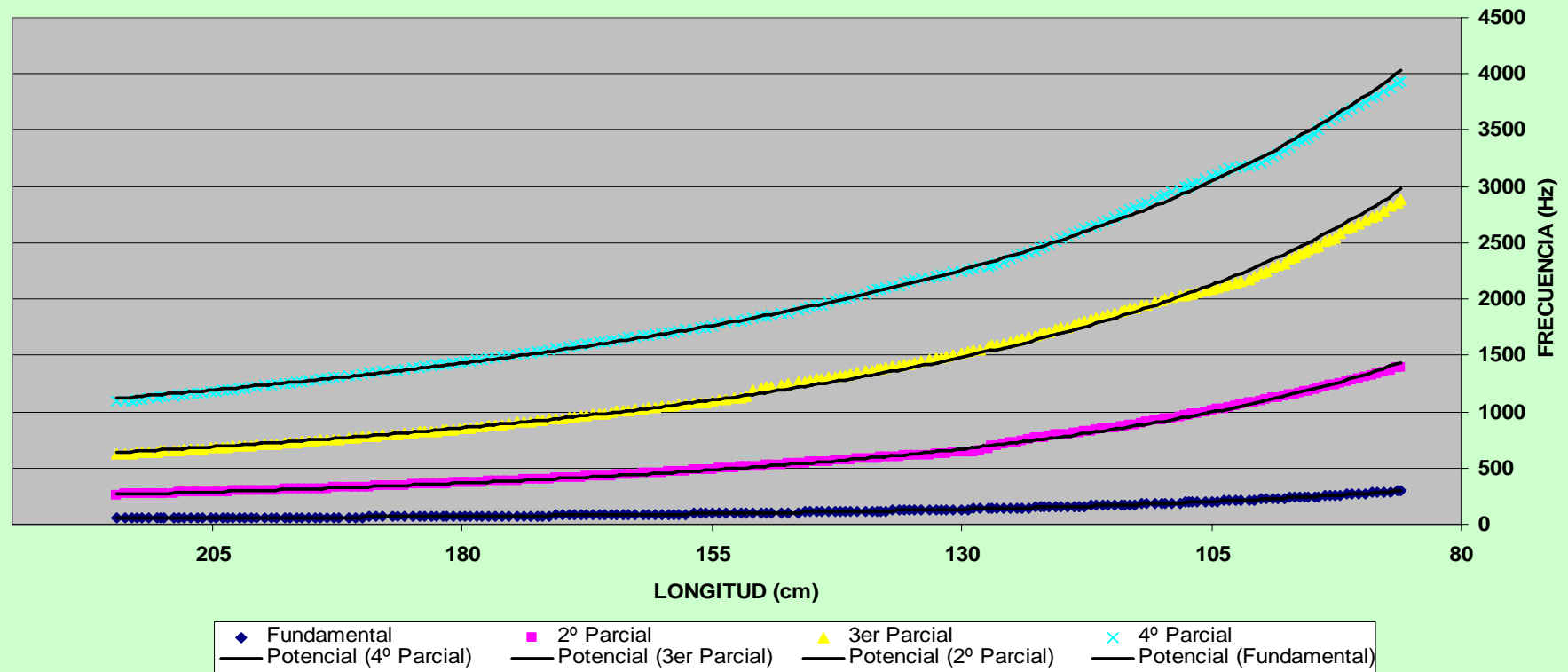
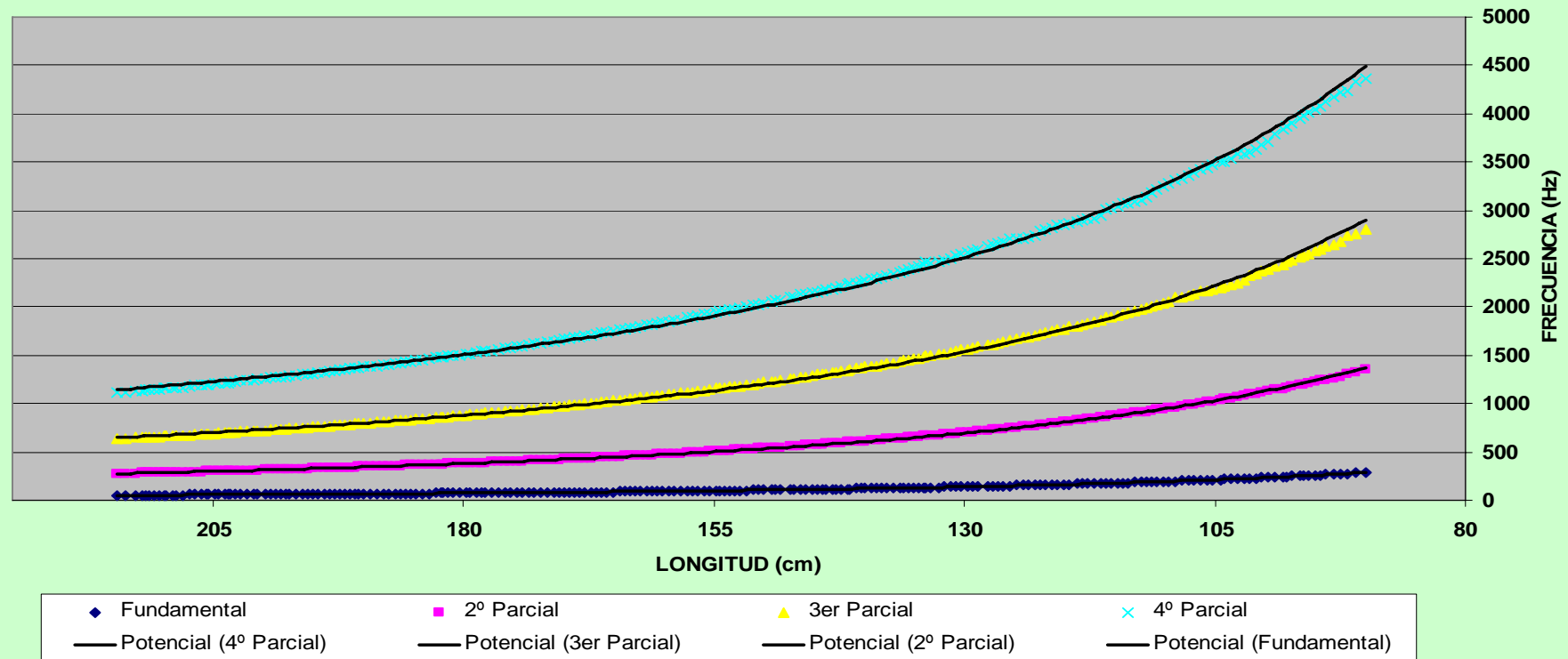


TABLA 1	FUNDAMENTAL	2º PARCIAL	3er PARCIAL	4º PARCIAL
FORMULA	$f = \frac{2 \times 10^6}{L^{1.9451}}$	$f = \frac{6 \times 10^6}{L^{1.8547}}$	$f = \frac{5 \times 10^6}{L^{1.686}}$	$f = \frac{2 \times 10^6}{L^{1.4025}}$
R ²	1	0,999	0,9976	0,9991

GRAFICO 9: Tabla 1

f = frecuencia (Hz) L = longitud de la tabla (cm)

TABLA 2



BLA 2	FUNDAMENTAL	2° PARCIAL	3er PARCIAL	4° PARCIAL
FORMULA	$f = \frac{2 \times 10^6}{L^{1,9653}}$	$f = \frac{6 \times 10^6}{L^{1,8493}}$	$f = \frac{7 \times 10^6}{L^{1,7234}}$	$f = \frac{5 \times 10^6}{L^{1,5727}}$
R ²	1	0,9998	0,999	0,9985

GRAFICO 10: Tabla 2

f = frecuencia (Hz) L = longitud de la tabla (cm)

TABLA 3

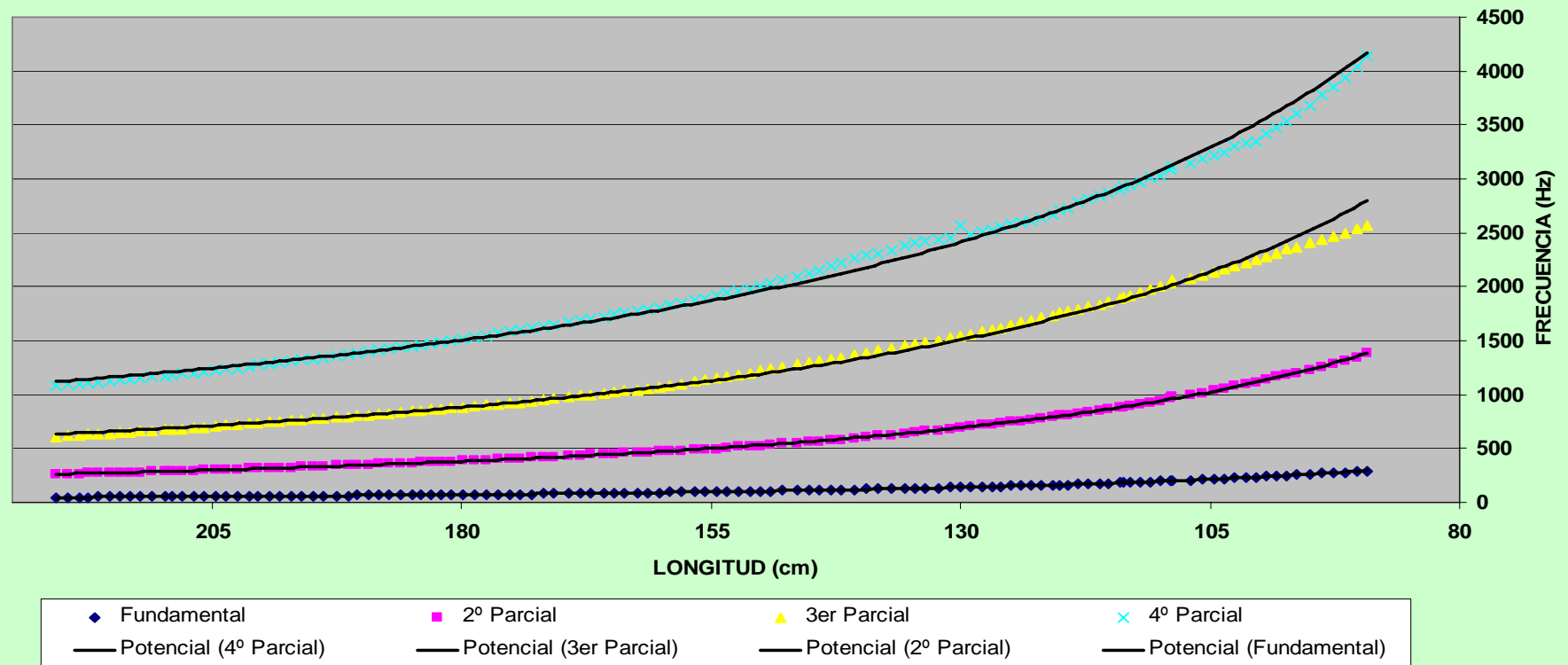


TABLA 3	FUNDAMENTAL	2º PARCIAL	3er PARCIAL	4º PARCIAL
FORMULA	$f = \frac{2 \times 10^6}{L^{1,9936}}$	$f = \frac{5 \times 10^6}{L^{1,8353}}$	$f = \frac{4 \times 10^6}{L^{1,6425}}$	$f = \frac{3 \times 10^6}{L^{1,4507}}$
R ²	0,9999	0,9997	0,9968	0,996

GRAFICO 11: Tabla 3

f = frecuencia (Hz) L = longitud de la tabla (cm)

TABLA 4

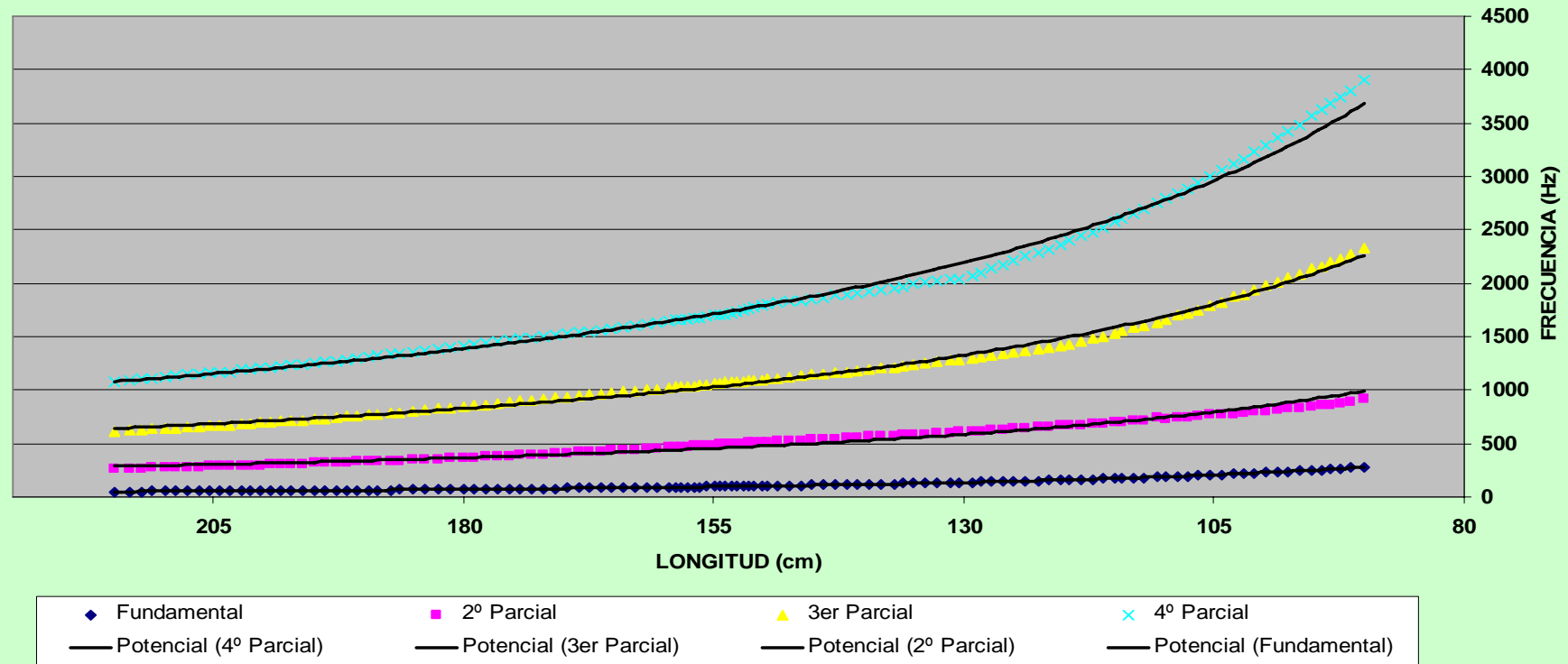


TABLA 4	FUNDAMENTAL	2° PARCIAL	3er PARCIAL	4° PARCIAL
FORMULA	$f = \frac{2 \times 10^6}{L^{1,9828}}$	$f = \frac{634108}{L^{1,4355}}$	$f = \frac{2 \times 10^6}{L^{1,4501}}$	$f = \frac{2 \times 10^6}{L^{1,4086}}$
R ²	0,9999	0,979	0,9941	0,9941

GRAFICO 12: Tabla 4

f = frecuencia (Hz) L = longitud de la tabla (cm)

TABLA 5

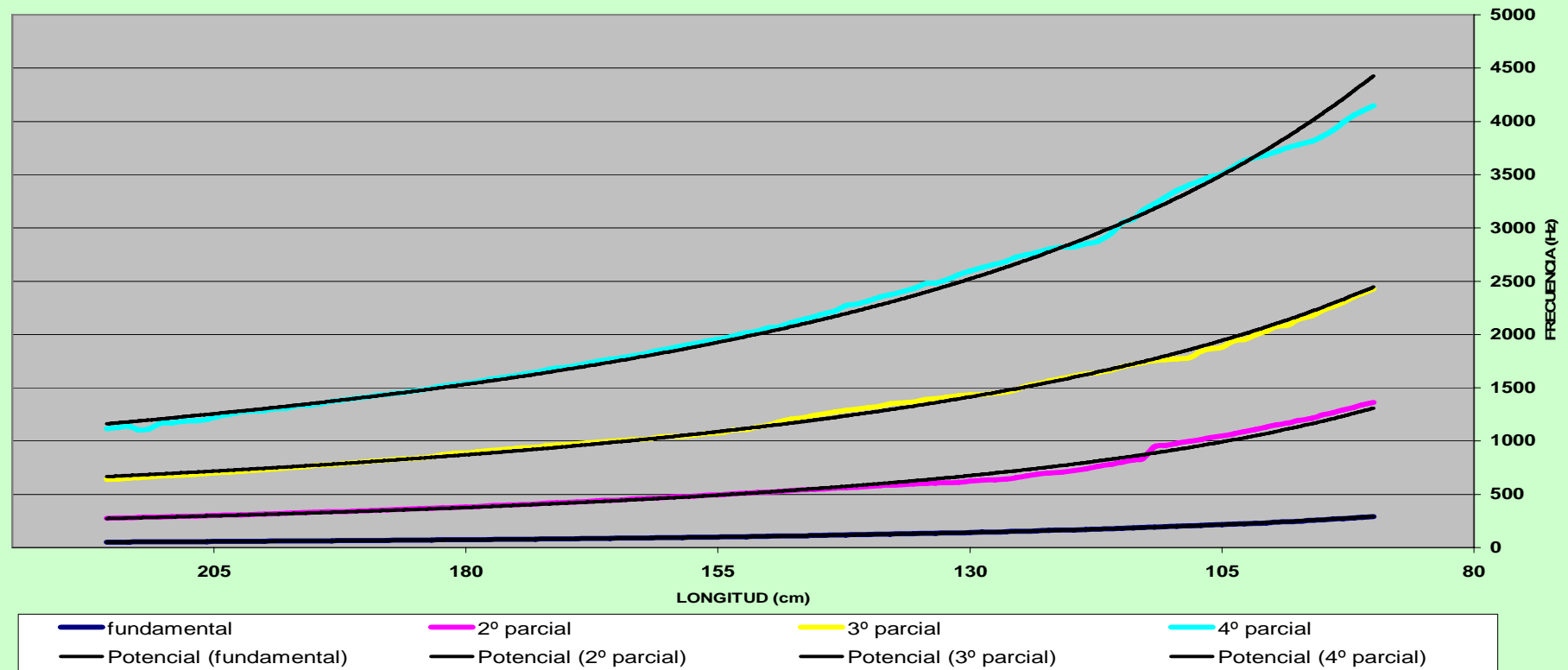


TABLA 5	FUNDAMENTAL	2° PARCIAL	3er PARCIAL	4° PARCIAL
FORMULA	$f = \frac{2 \times 10^6}{L^{1,9752}}$	$f = \frac{6 \times 10^6}{L^{1,7952}}$	$f = \frac{2 \times 10^6}{L^{1,4892}}$	$f = \frac{4 \times 10^6}{L^{1,5307}}$
R ²	0,9999	0,9919	0,9967	0,9957

GRAFICO 13: Tabla 5

f = frecuencia (Hz) L = longitud de la tabla (cm)

RESULTADO GENERAL

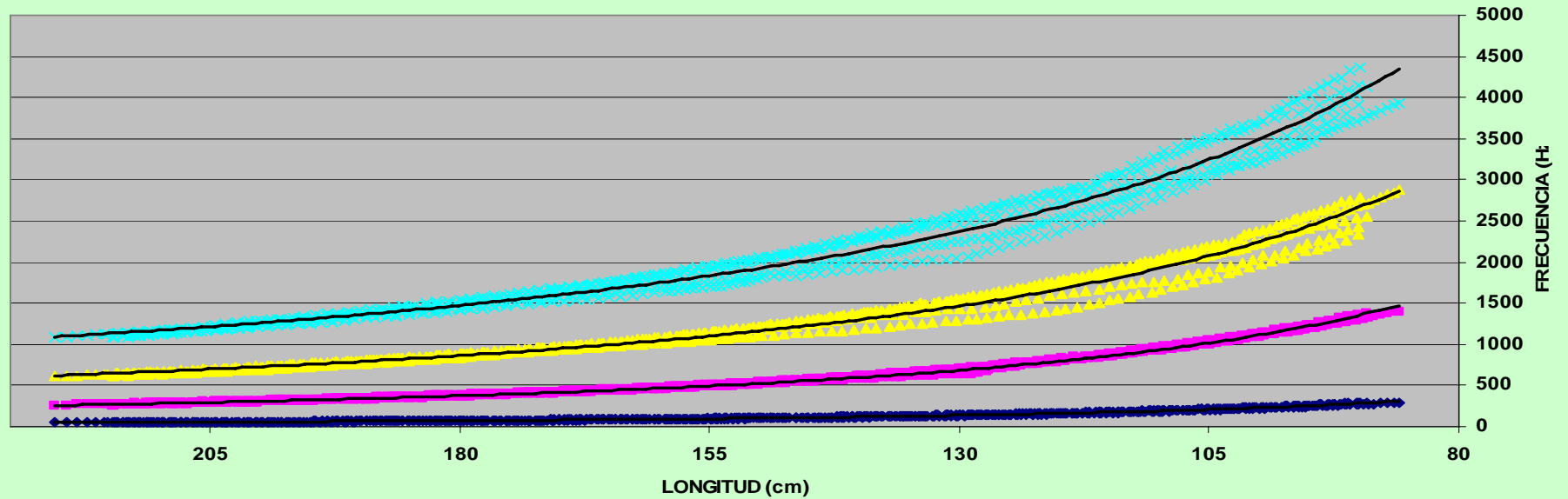


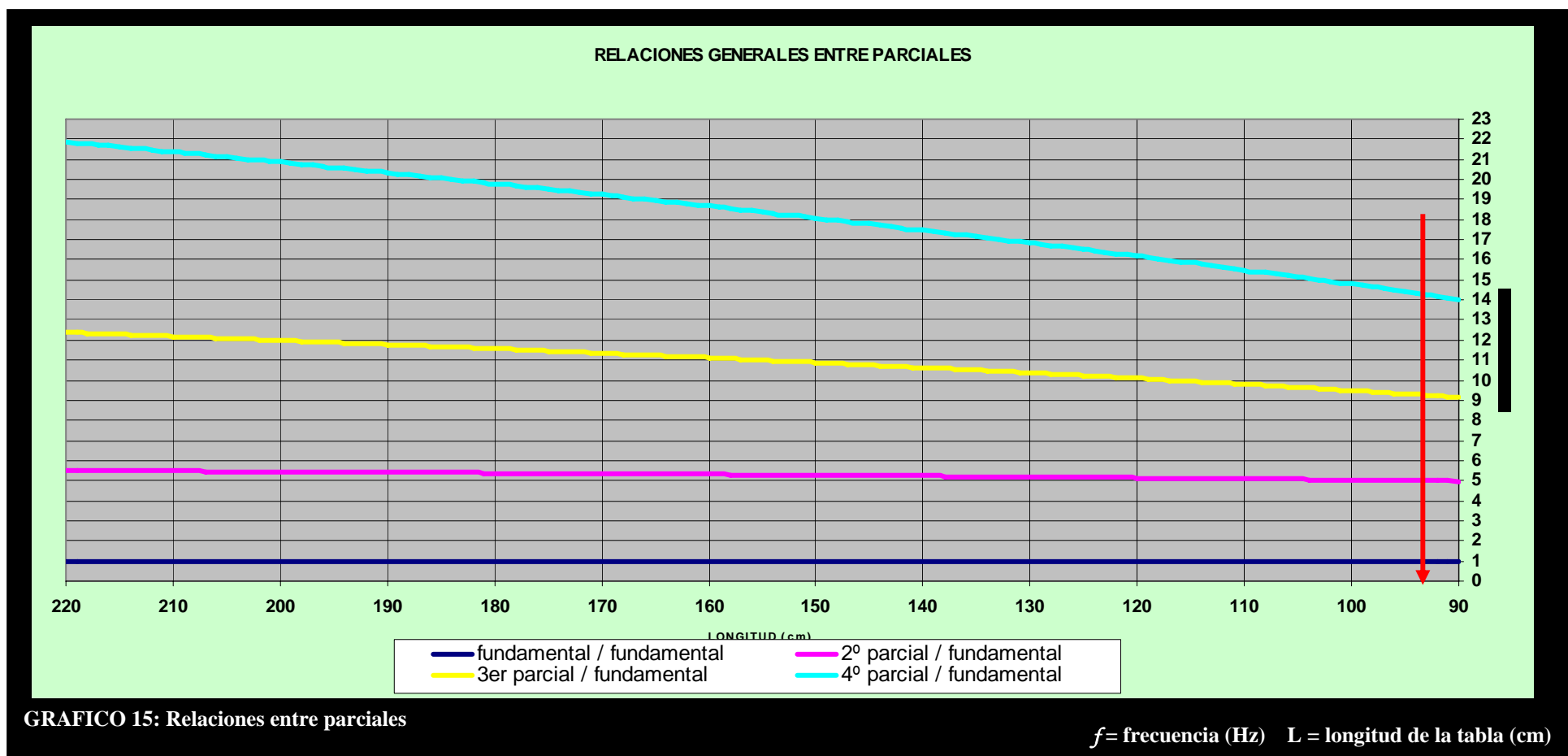
TABLA 5	FUNDAMENTAL	2º PARCIAL	3er PARCIAL	4º PARCIAL
FORMULA	$f_{fundamental} = \frac{2 \times 10^6}{L_{tabla}^{1.9632}}$	$f_{segundo} = \frac{6 \times 10^6}{L_{tabla}^{1.8507}}$	$f_{tercero} = \frac{4 \times 10^6}{L_{tabla}^{1.6253}}$	$f_{cuarto} = \frac{6 \times 10^6}{L_{tabla}^{1.4664}}$
R ²	0,9978	0,9977	0,9854	0,9790

GRAFICO 14: General de las tablas

f = frecuencia (Hz) L = longitud de la tabla (cm)

En el siguiente gráfico se representan las relaciones que mantiene cada uno de los parciales con la fundamental en función de la longitud de la tabla. Estas curvas han sido obtenidas en base a las formulas que figuran en el grafico anterior, es decir, a las curvas que representan la tabla modelo.

Existe una longitud (marcada con la flecha roja) en la cual la relación del segundo con la fundamental será de 5 creando un armónico. Esto resulta interesante porque demuestra la existencia de un máximo de armonía en función de la longitud de tabla para cada sección determinada. En la próxima página se demuestra matemáticamente.



Por un lado sabemos que un sonido es armónico si mantiene relaciones numéricas enteras en frecuencia con la frecuencia fundamental. Así, observando el gráfico anterior observamos que la relación del segundo parcial con la fundamental varía alrededor de 5. De este modo encontraremos la longitud (L) que produce dicha relación.

Si sabemos que la frecuencia fundamental responde a la siguiente función:

$$f_{fundamental} = \frac{2 \times 10^6}{L_{tabla}^{1.9632}}$$

Por otro lado sabemos que la frecuencia del segundo parcial responde a la siguiente función:

$$f_{segundo} = \frac{6 \times 10^6}{L_{tabla}^{1.8507}}$$

De tal manera, podemos relacionarlas entre ellas de forma que su relación sea 5.

$$5 = \frac{f_{2^\circ parcial}}{f_{fundamental}} = \frac{\frac{2 \times 10^6}{L_{tabla}^{1.9632}}}{\frac{6 \times 10^6}{L_{tabla}^{1.8507}}} = \frac{3 \times L_{tabla}^{1.9632}}{L_{tabla}^{1.8507}}$$

$$\frac{5}{3} = L^{(1.9632 - 1.8507)} = L^{0.1125}$$

$$L = 93.75 \text{ cm}$$

Se concluye que la longitud ideal de la tabla para piezas de las características previamente definidas es **93,75 cm.**

TABLA IDEAL	LONGITUD	ANCHURA	GROSOR
Medidas reales	93,75	15,1	5,1
Proporciones	18,38	2,96	1

Por otro del anterior grafico también demuestra como la relación entre parciales no es fija y que varía en función de diferentes factores en contraposición con la idea intuitiva transmitida por la bibliografía, la cual daba a entender que se mantenían siempre constantes.

4.4 Comparación con los antecedentes

De la bibliografía [Siquier] se obtuvo una formula teórica que en función del grosor, la longitud, la densidad y el modulo de Young obtenía la frecuencia de la vibración fundamental

$$f_{fundamental} = 1,03 \cdot \frac{h}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{E}{d}}$$

h = Grosor en metros

L = Longitud en metros

f = frecuencia fundamental en Hz

E = Modulo elasticidad de la madera en $\frac{N}{mm^2}$

d = Densidad en $\frac{Kg}{m^3}$

Con el objetivo de comparar la formula obtenida a través del estudio y la obtenida de la bibliografía, con los datos reales obtenidos, se realizo este gráfico.

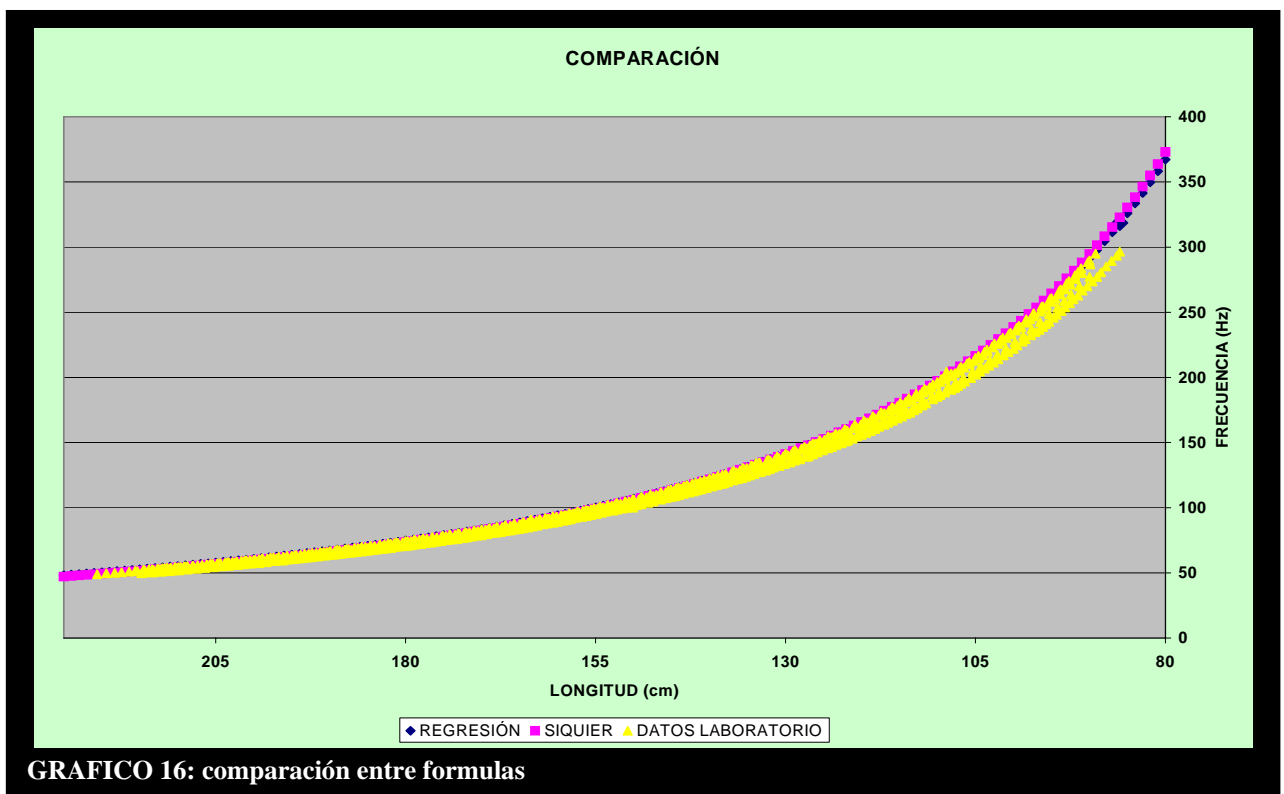
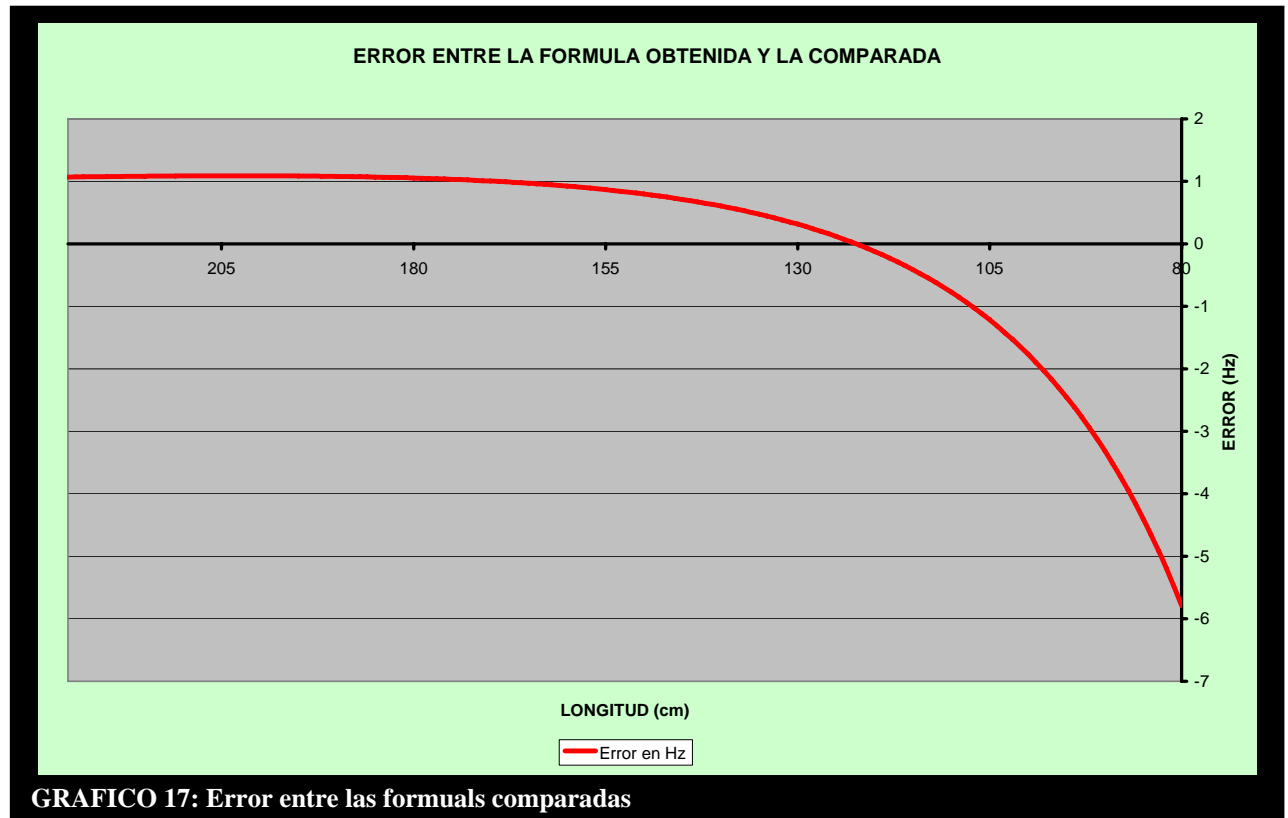


GRAFICO 16: comparación entre formulas

Se observa el gran parecido entre una formula y la otra, los resultados son casi idénticos. Los datos de la regresión obtenida empíricamente alcanzan unas frecuencias ligeramente mayores pero el resultado es completamente parecido.

Ahora se muestra el grafico donde se representa el error de una formula respecto a la otra en función de la longitud de la pieza.



La formula obtenida por este estudio presenta una clara ventaja respecto a la propuesta por Siquer y es el numero de variables. El reducido numero que necesita hace que esta sea una formula mucho mas sencilla.

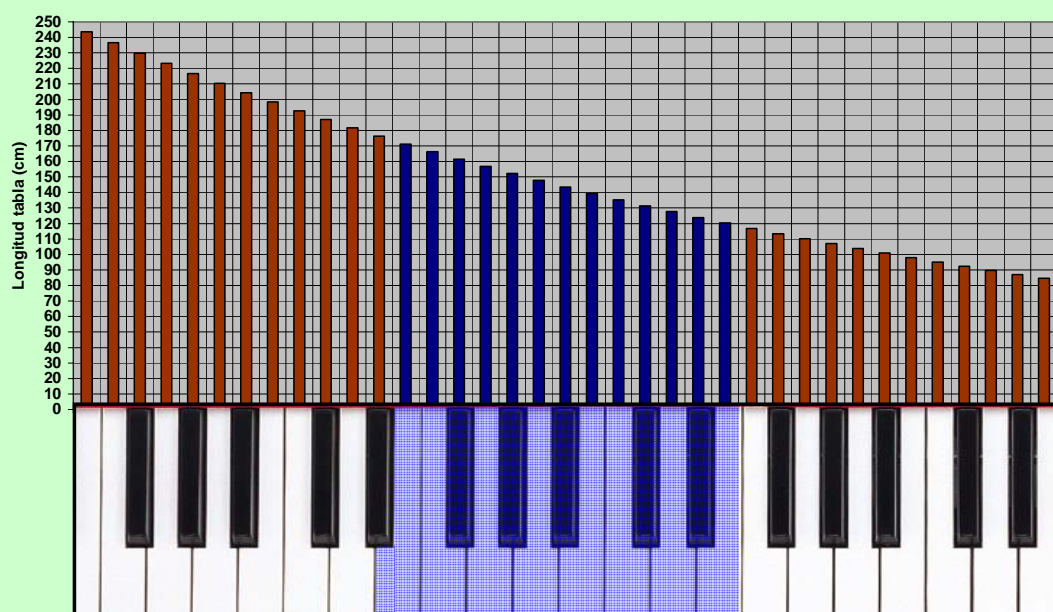
En cambio lo que gana en sencillez lo pierde en aplicabilidad. Esta relación solo esta probada para las tablas de las condiciones especificadas, mientras que la propuesta por Siquier es adaptable a todas las especies y tamaños siempre que se conozcan tanto el modulo de elasticidad como la densidad del material

4.5 Propuesta para la afinación de una txalaparta

A continuación se muestra la siguiente propuesta basada en la relación obtenida empíricamente para la afinación de una *txalaparta* de tesitura ($MI_3 - MI_4$). Se muestran las dimensiones del conjunto de 13 laminas que componen la octava.

TABLA	LONGITUD	GROSOR	ANCHURA	FRECUENCIA	NOTA	
	cm	mm	mm	Hz		
1	171,25	151	51	82,41	MI_3	E
2	166,29	151	51	87,31	FA_3	F
3	161,46	151	51	92,50	$FA \#_3$	F #
4	156,78	151	51	98,00	SOL_3	G
5	152,24	151	51	103,83	$SOL \#_3$	G #
6	147,82	151	51	110,00	LA_4	A
7	143,54	151	51	116,54	$LA \#_4$	A #
8	139,38	151	51	123,47	SI_4	B
9	135,33	151	51	130,81	DO_4	C
10	131,41	151	51	138,59	DO_4	C #
11	127,60	151	51	146,83	RE_4	D
12	123,90	151	51	155,56	$RE \#_4$	D #
13	120,31	151	51	164,81	MI_4	E

Esquema 6: Propuesta de afinación



5. CONCLUSIONES:

1. Se ha encontrado la relación matemática que describe la frecuencia fundamental propia de una pieza de Iroko, en función de la longitud, bajo las condiciones citadas en el presente trabajo y con una $R^2 = 0,9978$.
2. El valor de la frecuencia en función de la longitud de la tabla va en aumento de forma exponencial y aunque en este estudio no se analizó, se presupone que mantendrá dicha tendencia para el resto de especies.
3. Las relaciones numéricas que presentan los diferentes parciales con la fundamental no se mantienen constantes a lo largo de la tabla sino que van decreciendo según disminuye el tamaño de la misma. Esto indica que para cada sección de tabla habrá una longitud óptima en la cual el segundo parcial forme un armónico con la fundamental.
4. La longitud es la dimensión que mayores cambios en la frecuencia fundamental produce, seguida del grosor y de la anchura. Además, mientras la reducción de la longitud de la pieza aumenta la frecuencia fundamental, la reducción del grosor y de la anchura la disminuye.
5. Para crear la máxima sensación tonal sobre una tabla hay que golpearla en el centro, porque siendo el vientre del primer modo de vibración transversal se maximiza la sensación sonora producida por este.
6. La relación encontrada define fielmente la afinación de una txalaparta siempre que mantenga las condiciones propias del estudio. En cambio, para perfeccionar dicha relación se deberán seguir estudiando otras variables, por lo que, habiendo creado un método de experimentación, resultaran mas fáciles las futuras investigaciones.

6. GLOSARIO

Agudo: Sonido caracterizado por la alta frecuencia que presenta. Contraposición a grave.

Aislante: Material utilizado para aislar la tabla elásticamente del apoyo y que vibre de la manera mas libre posible. Antiguamente eran de materiales vegetales como la paja, hoy en día se usan los materiales sintéticos como espumas, gomas,...

Alboka: Instrumento de viento típico de Euskal Herria compuesto por dos fitas colocadas sobre dos cañas y montadas sobre dos cuernos. Se toca mediante la técnica de la respiración circular y se acompaña de un pandero.

Amplitud: Representa el volumen de una señal de audio. Existen diferentes patrones para medirla pero normalmente se utiliza el dB.

Antinodo: Aquella parte de un sistema vibrante que más vibración presenta. Sinónimo de vientre.

Armónico: Son aquellos sobretonos que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

Ataque: Se define el ataque como la primera parte del sonido que se oye. La *txalaparta*, como otros instrumentos de percusión tiene un ataque muy rápido, es decir, llegan a un máximo de intensidad en un intervalo de tiempo muy corto.

Atenuar: Reducir el volumen.

Atonal: Instrumento que prescinde de las características propias del tono y de las relaciones armónicas para centrarse en el ritmo.

Decibelio (dB): Unidad logarítmica de medida utilizada para medir la amplitud.

Densidad aparente: Es la relación entre la masa de un objeto y el volumen que ocupa incluyendo el aire.

Envolvente: En audio y síntesis, una envolvente es la variación que sufre un sonido durante el tiempo, básicamente, cómo empieza un sonido, como continúa y como desaparece.

Espectro de frecuencias: Grafico que representa el tiempo en el eje de la x, la frecuencia en el eje de la y. Y la intensidad del sonido con la variación del color.

Estereo: Es una señal de audio que dispone de un canal izquierdo y otro derecho que permite la especialización del sonido

Etnomusicología: Es el estudio de la música en su contexto cultural.

Euskal Herria: Territorio físico donde la cultura vasca se manifiesta totalmente. Hoy en día se sitúa a ambos lados de los pirineos y ocupa las provincias de Vizcaya, Guipuzcoa, Álava, Navarra, Nafarroa Behera, Lapurdi y Zuberoa.

Fendas: Raja o hendidura al hilo de la madera.

FFT (Fast Fourier Transform): Algoritmo basado en la teoría de Fourier y utilizada por los programas de edición de sonido para las funciones de filtro, la vista espectral, análisis de frecuencias.

Formula empírica: Es una expresión o formula matemática que sintetiza, por medio de regresiones, correlaciones u otro medio numérico, una serie resultados observados en diversos ensayos, sin que sea necesario para ello disponer de una teoría que la sustente.

Fourier (teoría): Una forma de onda consta de una serie infinita de funciones de seno y coseno, permitiendo que la frecuencia y la amplitud se puedan analizar rápidamente.

Frecuencia fundamental: es la frecuencia mas baja del espectro de frecuencias.

Frecuencia: La frecuencia es el número de ciclos por segundo. La unidad es el Hercio (Hz). En música las frecuencias altas corresponden a sonidos agudos y las bajas a graves

Grave: Sonido caracterizado por la baja frecuencia que presenta. Contraposición a agudo

Idiófono: Instrumento musical en que el sonido se produce por medio de la vibración de su propio material primario, sin la vibración de cuerdas, membranas o columnas de aire (sonajero, castañuela, xilófono,...).

Intensidad: se define como la potencia acústica transferida por una onda sonora por unidad de área normal a la dirección de propagación.

Lamina: Cada una de las piezas que sirven para ser golpeadas en la *txalaparta*. Generalmente son paralelepípedos de madera, pero como existen también de silestone®, de cristal, de hierro,... Hoy en día el término tabla puede resultar inadecuado

Longitud de onda: es la distancia mínima existente entre dos puntos de igual fase

Makila: Instrumento de madera que es usado para golpear las laminas de la *txalaparta*. Tiene forma cónica y su diversidad en cuanto tamaños y materiales es abundante. Del euskera: palo.

Marimba: Instrumento musical de percusión clasificado como idiófono que consta de un grupo de barras afinadas y acompañadas de tubos resonadores que profundizan el sonido que estas producen. Se toca con baquetas.

Melodía: Una melodía es una sucesión coherente de sonidos y silencios que se desenvuelve en una secuencia lineal y que tiene una identidad y significado propio dentro de un entorno sonoro particular.

Micrófono de pastilla: Aparato capaz de transformar las vibraciones físicas en impulsos eléctricos que un aparato volverá a decodificar.

Micrófono externo: Micrófono que se conecta a un aparato de forma externa mediante una unión Jack.

Micrófono interno: Micrófono que viene incorporado dentro de aparatos como ordenadores, afinadores,... su calidad acostumbra a ser inferior a otros y viene integrado en el dispositivo.

Modo de vibración: Un modo de vibración es un patrón o forma característica en el que vibrará un sistema mecánico. La mayoría de los sistemas tienen muchos modos de vibración y es la tarea del análisis modal determinar la forma de esos modos. La vibración de una estructura es siempre una combinación o una mezcla de todos los modos de vibración. Pero no todos están excitados al mismo grado. Por ejemplo, si se toca una campana suavemente, lo primero que se va oír es el modo fundamental de vibración, pero si se la toca más fuerte, otros modos son excitados y se oyen los parciales superiores del tono.

Mono: Señal monofónica que contiene solo un origen de sonido.

Nodo: En un sistema vibrante, aquella parte del mismo que menos vibración presenta.

Parcial: Son aquellos sobretonos que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental.

Potencia acústica: cantidad de energía (potencia) por una fuente determinada en forma de ondas por unidad de tiempo.

Ritmo: proporción que se guarda entre el tiempo de un movimiento y el de otro diferente.

Sobretono: Es un componente senosoidal de la forma de una onda de mayor frecuencia que su frecuencia fundamental.

Sonido complejo: Es la suma de ondas senosoidales puras. Normalmente, todos los sonidos que conocemos, a excepción del diapason forman sonidos complejos.

Tesitura: Hace referencia la zona de la extensión de sonidos de frecuencia determinada que es capaz de emitir un instrumento musical.

Timbre: Cualidad del sonido que permite diferenciar dos notas iguales tocadas por diferentes instrumentos. Es el fruto del diferente reparto de armónicos.

Tono: Propiedad del sonido que diferencia entre los sonidos graves y los agudos, en la ingeniería se utiliza la frecuencia pero representan la misma idea.

Trikitixa: Acordeón diatónico utilizado generalmente en Euskal Herria.

Txalapartari: Del Euskera, persona que toca la *txalaparta*.

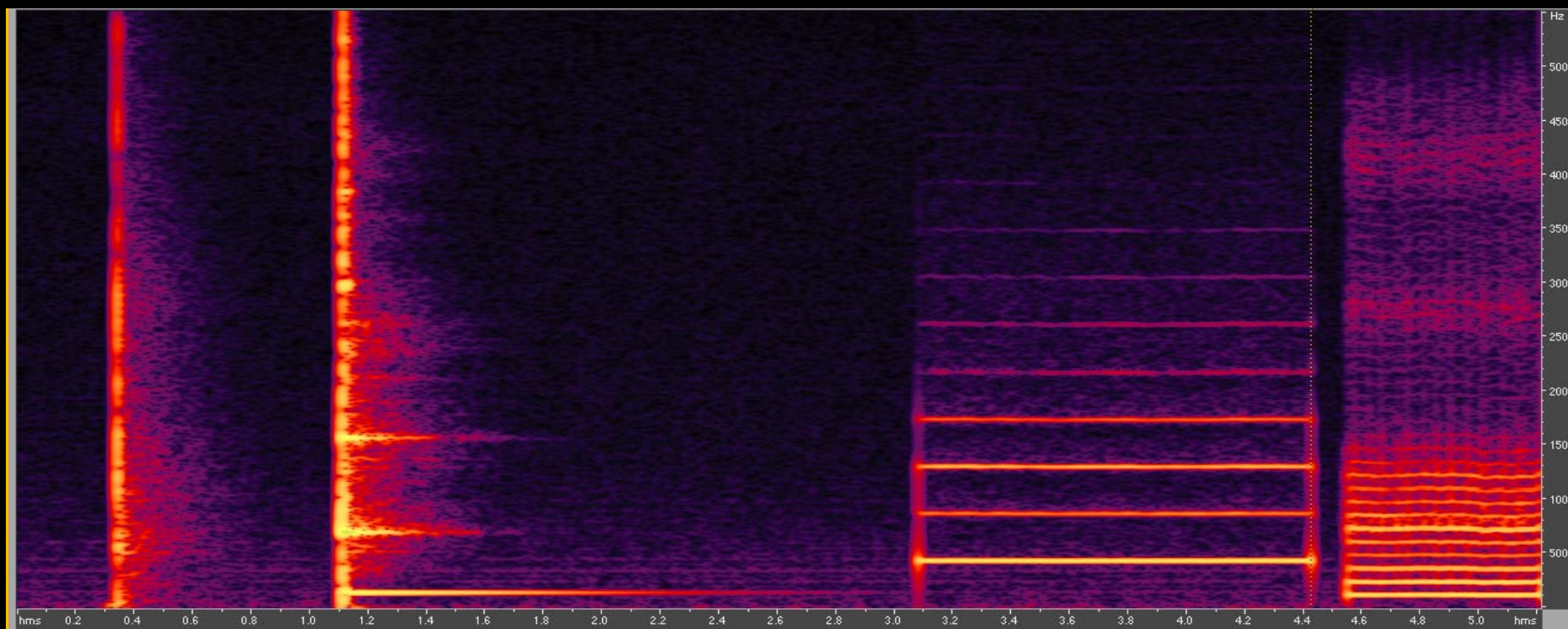
Xilófono: Idiófono de pequeño tamaño que es percutido por dos baquetas y compuesto por una serie de barras apoyadas en dos soporte flexibles.

Xilohigrometro: Aparato que mide la humedad de la madera en función de la conductividad eléctrica.

ANEJO 1: FICHA DE LA ESPECIE UTILIZAD

NOMBRE BOTANICO			Clorophora excelsa Benth. & Hook f. Syn Milicia excelsa (Welv.) Benth. & Hook f. Clorophora regia A. Cehv. Syn.		
NOMBRES COMERCIALES			Iroko, Teca africana		
PROCEDENCIA:			África Tropical		
DESCRIPCION			La albura presenta un color amarillo pálido o blanco amarillento. El duramen presenta un color marrón amarillento. Los anillos de crecimiento son visibles y los radios leñosos finos. La fibra generalmente es recta y el grano puede variar de medio a grueso.		
PROPIEDADES FISICAS			BIBLIOGRAFIA		
			Guindeo, A. (1997)	Cigalat, E. (2003)	Vignote, S. (2006)
	Densidad (12%)		630-670 kg/m³	650 Kg/m³	650 Kg/m³
	Contracción		Medianamente nerviosa		
	Coeficiente Contracción	Volumétrica	10%	9%	
		Tangencial	5.7 %	5.5%	
		Radial	3.6 %	3.5%	
Dureza		4 (semidura)		3.9	
PROPIEDADES MECANICAS					
	Flexión estática		96-120 N/mm²	98 N/mm²	95.5 N/mm²
	Modulo de Elasticidad		9.500-13.000 N/mm²	11900 N/mm²	10.5000 N/mm²
	Compresión axial		50-70 N/mm²	58 N/mm²	52 N/mm²
	Cortante		7,0-12,4 N/mm²		
	Flexión dinámica		2,6-5,0 J/cm²		
PROPIEDADES TECNOLOGICAS			Presenta un aserrado fácil, el desafilado de las sierras es normal y se pueden usar de acero o aleaciones. Presenta buenas aptitudes para el desenrollo. Se trabaja muy bien y se obtienen buenas superficies. El encolado, clavado y atornillado no presentan problemas. Se muestra repelente a las pinturas		
DURABILIDAD NATURAL E IMPREGNABILIDAD			Se clasifica como muy durable o durable frente a la acción de los hongos y a las termitas. El duramen no es impregnables pero si la albura.		
APLICACIONES			Carpintería exterior e interior, recubrimientos decorativos, ebanistería, torcería, carpintería de armar, txalaparta.		

ANEJO 2: Comparación sonidos.



Golpe con la mano sobre la mesa	Golpe sobre una tabla de <i>txalaparta</i>	Flauta travesera	La Voz
Se observa un ataque repentino y un final rápido. Se excita toda la banda de frecuencias por igual.	Al principio se excitan todas las frecuencias, luego, aparecen dos parciales claros y una larga y definida fundamental.	Una clara frecuencia fundamental y una perfecta sucesión de armónicos. Inexistencia de ruido	Difícilmente describible.
Se recuerda que el timbre de un instrumento varia en función del conjunto de armónicos producidos por el mismo. De este modo, uno se maravilla al observar la innumerable cantidad de armónicos, y en definitiva, el gran abanico tímbrico que es capaz de crear la voz humana.			

ANEJO 3: EL METODO DE LA SAL

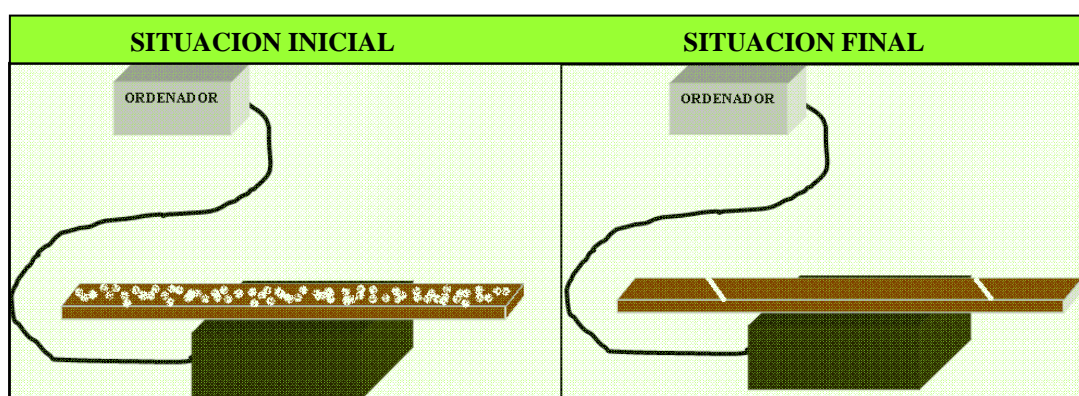
Es un experimento que tiene como objetivo el análisis nodal de un cuerpo vibrante.

Se basa en el fenómeno de la resonancia. Todo cuerpo capaz de vibrar lo hace con una o varias frecuencias que le son características. Resulta que, si ese cuerpo es alcanzado por una onda sonora de esa misma frecuencia, empieza a su vez a vibrar, pues el cuerpo vibrante recibe de forma continuada una serie de impulsos concordantes que producen en él amplitudes crecientes.

Ahora la frecuencia nos la dará un ordenador, la onda sonora un amplificador de guitarra y el cuerpo vibrante será la tabla.

La metodología es la siguiente:

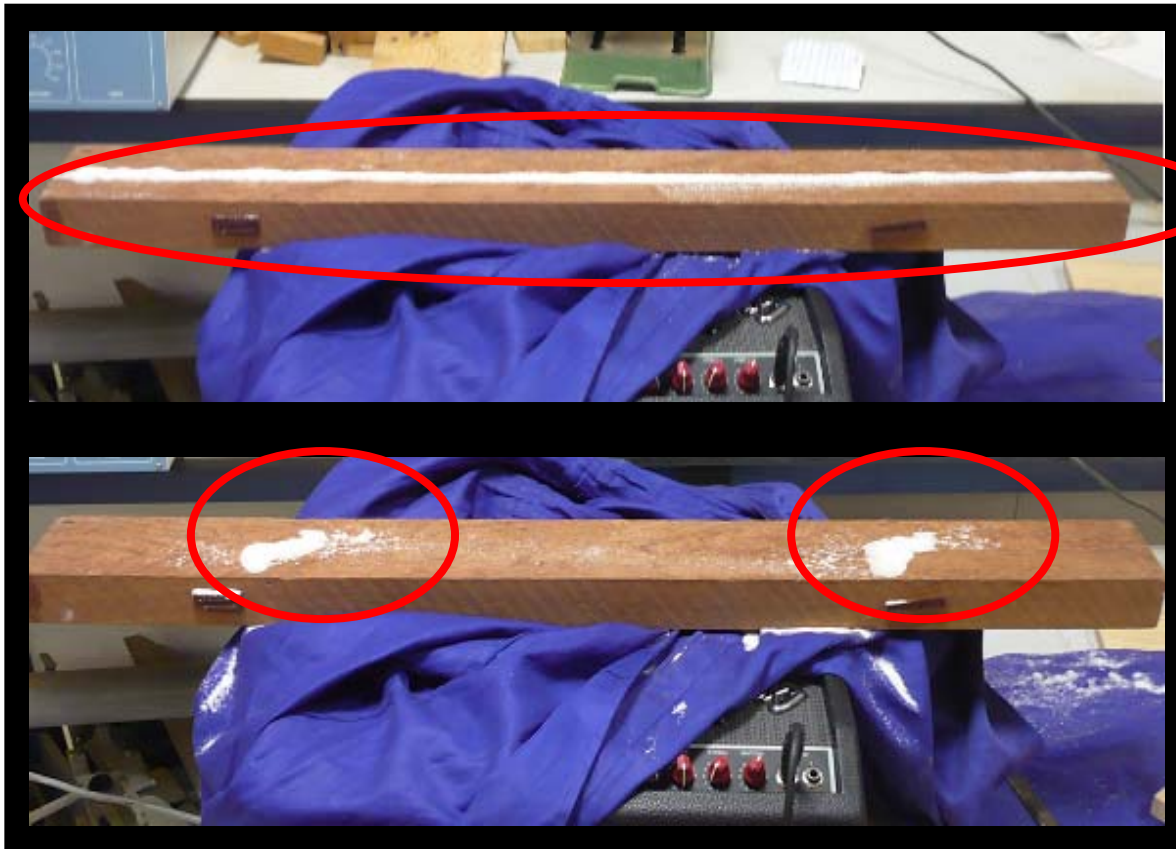
- En una tabla situada encima de dos caballetes a 0,25, se golpea el centro y se registra su sonido. De ahí, tras hacer un análisis espectral, se obtiene la frecuencia a la que vibra el primer modo transversal.
- Se coloca la tabla encima del amplificador sobre unos aislantes de tal forma que el centro del amplificador coincida con el centro de la tabla.
- Sobre la superficie de la tabla se esparce sal homogéneamente.
- A través del ordenador se genera un tono a la frecuencia hallada anteriormente.
- Reproducimos el sonido y observamos lo sucedido.



Como representan los esquemas anteriores, la sal se ha desplazado de aquellos lugares donde la vibración era máxima (antinodos) a las zonas con menos vibración (nodos) y es ahí donde se han quedado.

Aunque este método teóricamente sea útil para cada uno de los modos de vibración, no se consiguió este resultado más que en el caso de la vibración fundamental. El resto de modos de vibración no se excitaron con las frecuencias elegidas. Esto pudo ser por la gran energía que hacía falta para excitar una tabla o por un error de grabación.

La siguiente fotografía muestra por un lado la posición inicial de la línea de sal distribuida longitudinalmente por la tabla. Y por otro la situación final de la misma.



La aplicación de este método en la *txalaparta* es encontrar la situación de los nodos para cada tabla. En este estudio se experimento con dicho método pero finalmente no se aplico.

Las figuras obtenidas a través de este método se llaman figuras de figuras de Chladni. Y existen para parches de instrumentos membranofonos, violines, platos,...

6. BIBLIOGRAFÍA:

IMPRESO:

- **Álvarez, R. (2000).** *Estructuras de madera, diseño y calculo*. Segunda edición. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho AITM. ISBN 84-87381-17-0
- **Andoni Alemán y Jesús Arze.** *Txalaparta*. [CD música]. Elkar. 1986
- **Arriaga Martitegui, F. (2003).** *Madera aserrada estructural*. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. ISBN 9788487381256
- **Arriaga, F. (1995).** *Manual de diagnosi patologia i intervenció en estructures de fusta*. Barcelona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona. ISBN 84-87104-22-3
- **Arriaga, F. (2002).** *Intervención en estructuras de madera*. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho AITM. ISBN 84-87381-24-3
- **Baetting, P. (2008).** "Determinación del modulo de elasticidad de la madera mediante vibraciones transversales". *Maderas, Cienc. tecnol.* [online]. 2001, Vol.3, no.1-2 [citado 23 Noviembre 2008], p.44-51. Disponible en la World Wide Web: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-21X2001000100005&lng=es&nrm=iso. ISSN 0718-221X.
- **Balari, J.M. (1989).** *Fustes per a la construcció: propietats, macroestructura i microestructura*. Barcelona: Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITEC). ISBN 84-85954-91-2
- **Beltran, J.M. (2004).** *Txalaparta eta beste aldaera zaharrak*. Oiartzun: Herri musika bilduma 3. Juan Mari Beltran Argiñena. ISBN 84-88917-14-7
- **Cigalat, E. (2003).** *Guía de las principales maderas y de su secado*. Madrid: Mundi-Prensa, cop. ISBN 9788484761495
- **Claude, A. (2006).** *Teoría de la música. Una guía*. México DF: Fce (México). ISBN 9681673638
- **Devore, J.L (2005).** *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Madrid: Thomson. ISBN 970-686-457-1

- **Garcia, L (2003).** *La madera y su anatomía*. Madrid: Mundi prensa. ISBN 84-87381-23-5
- **Gil, J. (2008).** “Psico-Acústica” Borrador del artículo Psico-Acústica
- **Goiri, J. (1996).** *Txalaparta. Txakun, los dos sonidos del corazón*. Arrigorriaga: ISBN84-922096-07
- **Gonick, L. (1999).** *La Estadística en comic*. Barcelona: Zendrera Zariquiey. ISBN 84-8418-041-7
- **Guindeo, A. (1997).** *Especies de madera para carpintería, construcción y mobiliario*. Madrid: Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. ISBN 9788487381126
- **Iñiguez, G. (2007).** “Los métodos de vibración como herramienta no destructiva para la estimación de las propiedades resistentes de la madera aserrada estructura” Informes de la Construcción Vol. 59, 506, 97-105 abril-junio 2007 ISSN: 0020-0883:
- **Isalgué, A. (1995).** *Física de la llum i el só*. Barcelona: Ediciones UPC. ISBN 84-8301-134-4
- **Joxan Goikoetxea eta Juan Mari Beltran.** *Betti tun-tun*, [CD música]. 1998
- **Laboa, M. (1995).** *Mikel Laboa. Donostia: Elkar*. ISBN 978-84-7917-478-1
- **Lara, A. (2006).** “Sobre la transformación Tiempo-Frecuencia y la aplicación del proceso de convolución a la dinámica de sistemas físicos. Aplicaciones acústicas” Revista de Acústica. Vol. 38. Núm. 1 y 2.
- **Mariano, J. (2007).** *Las vibraciones de la música*. Alicante: Editorial Club Universitario. ISBN 9788484545361
- **Moreno, A. (1998).** “Método Acústico Comparativo de la calidad de maderas para construcción de instrumentos musicales”
- **Nutsch, W. (1992).** *Tecnología de la madera y del mueble*. Barcelona: Reverté, S.A. ISBN 8429114351
- **Oreka Tx, Quercus endorphina** [CD música]. Elkar. 2001.
- **Oreka Tx. Nömadak Tx** [CD música + DVD documental]. Txalapart. 2007
- **Ortiz, L (2002).** *Resistencia de materiales*. Segunda edición. Madrid: McGrawHill ISBN 84-481-3353-6

- **Ramírez, D. (2004).** “Correlaciones entre la microestructura y la atenuación sonora en un acero inoxidable martensítico” Daniel Ramírez, Dyna, Noviembre 2004, Vol. 71, nº 144 Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- **Recuero, M. (2000).** *Ingeniería acústica*. Madrid: Parainfo. ISBN 8428326398
- **Rijsdijk, J.F. (1994).** *Physical and Related Properties of 145 Timbers*. Norwell: Kluwer Academic Publishers. ISBN 0-7923-2875-2
- **Sánchez, J. (2007).** “Txalaparta. Vibración y timbre” XXXI Congreso Nacional de Acústica- TecniAcústica 2000.
- **Smith, C. (1993).** *Coolins Diccionario Ingles*. Tercera edición. Barcelona: Grijalbo. ISBN 84-253-25484-6
- **Soriano, A. (2007).** *Código Técnico de la edificación. Volumen 1*. Barcelona: Marcombo, cop. ISBN 978-84-267-1434-3
- **Sotomayor, J.R. (2006).** “Comportamiento viscoelástico de la madera de *Prosopis sp*” Madera y Bosques, otoño, Vol. 12, núm. 002: p. 3-16.
- **Tipler, P. A (1999).** *Física para la ciencia y tecnología*. Cuarta edición. Barcelona: Reverte S. A ISBN 84-291-4381-5
- **Tomas San Miguel + Ttukunak.** *Dan_Txa* [CD música]. Musimagic.2005
- **Ttakunpa.** *Ttakunpa* [CD música]. Edición propia. 2003
- **Txala.** *Txalaria*. [CD musica]. Edicions Singulars. 2007.
- **Vignote, S (2000).** *Características Principales de las maderas utilizadas en Bizkaia: Tecnología y aplicaciones*. Bizkaiaiko Foru Aldundia. Bilbao: ISBN 84-7752-304-5
- **Vignote, S. (2000).** *Tecnología de la Madera en la construcción arquitectónica*. Madrid: Mundi prensa. ISBN 84-491-0477-7
- **Vignote, S. (2006).** *Tecnología de la madera*. Tercera edición. Madrid: Mundi-Prensa, cop. ISBN 978-84-8476-263-8

DIGITAL:

- **Villasante, A. (2008).** Tecnología e industrias de los productos forestales. Apuntes de la asignatura.
[<http://pv.sbd.udl.es/coursepage.asp?cid=1606&page=01>]
- **Firoelli, L. Rocamora, M.(2006).** Acustica Musical. Apuntes de la Escuela Universitaria de Música
[<http://www.eumus.edu.uy/eme/cursos/acustica/apuntes/fisica-del-sonido.pdf>]
- **Jeffrey La Favre** (2007, 4 junio). [Consultado: 26 de noviembre de 2008]
Disponible en Internet: <http://www.lafavre.us/tuning-marimba.htm>
- **Wikipedia** (2008, 2 diciembre). [Consultado: 2 de diciembre 2008]. Disponible en Internet: <http://es.wikipedia.org>
- **UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA.** [2 de diciembre de 2008].
Disponible en Internet: <http://www.unavarra.es/organiza/acustica/index.htm>
- **Siquier, A. Construcción de instrumentos tradicionales.** [2 de diciembre de 2008] Disponible en Internet: <http://www.es-aqui.com/payno/colabora/txalaparta.htm>
- **UNIVERSITY NEW SOUTH WALES “ MUSIC Acoustics”.** [2 de diciembre de 2008] Disponible en Internet en: <http://www.phys.unsw.edu.au>
- **KETTERING UNIVERSITY.** (Actualizado: 2001, 22 agosto). [Consultado: 2008, 3 de diciembre] Disponible en Internet en: www.kettering.edu/~drussel/
- **ADOBE. “Help Resources Center”** (Actualizado 2008). [Consultado: 2008, 4 diciembre]. Disponible en Internet en:
http://help.adobe.com/es_ES/Audition/3.0/help.html?content=WS58a04a822e3e5010548241038980c2c5-7db6.html

ENTREVISTAS:

- Gamba, A. (2008, 18 octubre). Entrevista con Harkaitz Martínez de San Vicente, txalapartari del grupo Oreka Tx. Entrevista telefónica.
- Gamba, A. (2008, 12 mayo). Entrevista con Nando Taló, txalapartari del grupo Txala. Entrevista personal.

- Gamba, A. (2008). Entrevistas con Ismael Yagüe, Titulado Superior en Música, especialidad de txistu por el Conservatorio Superior de Música “Pablo Sarasate”, tecnico de sonido y profesor de música. Entrevista telefónica.